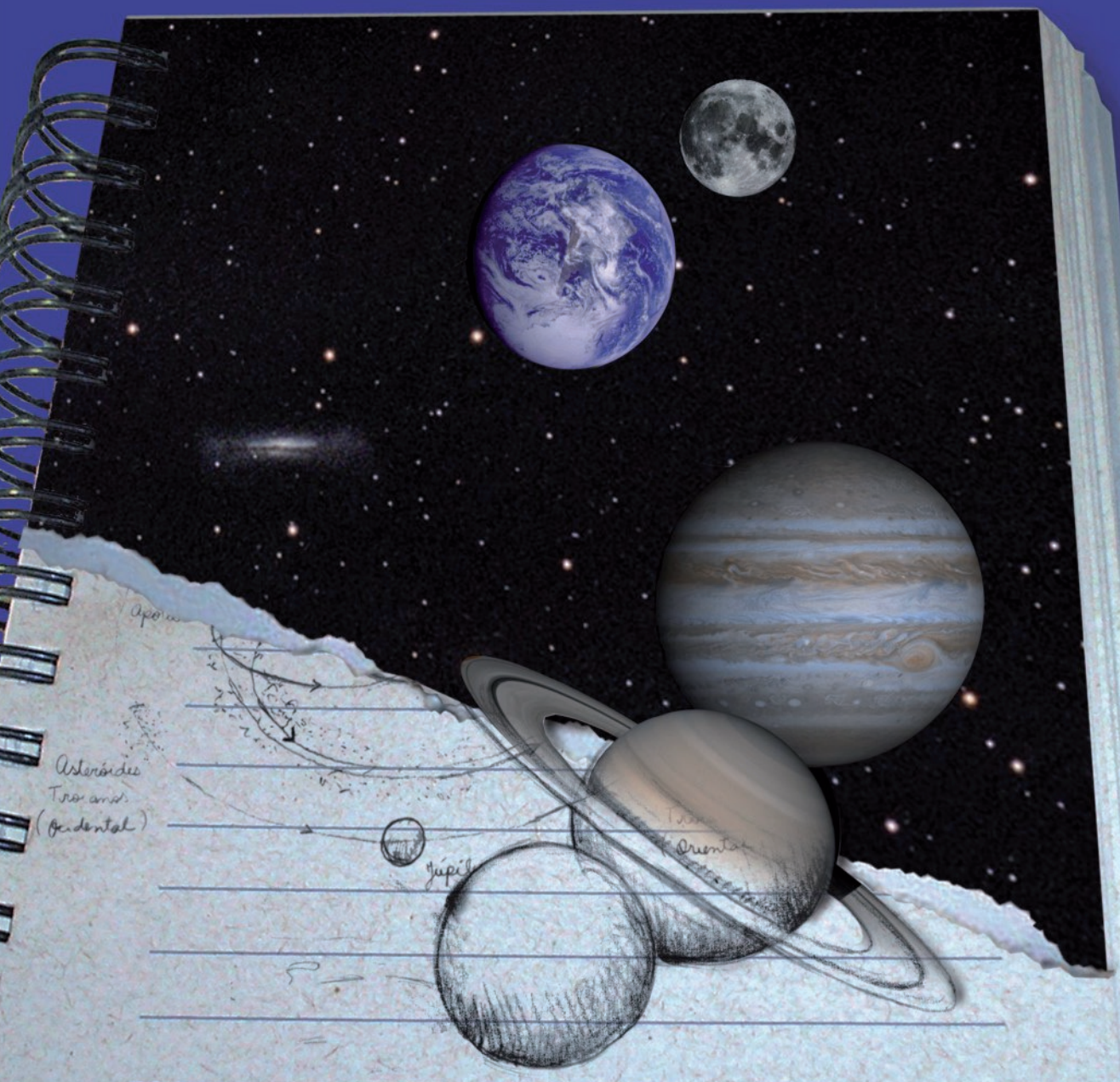
COLEÇÃO EXPLORANDO O ENSINO

ASTRONOMIA



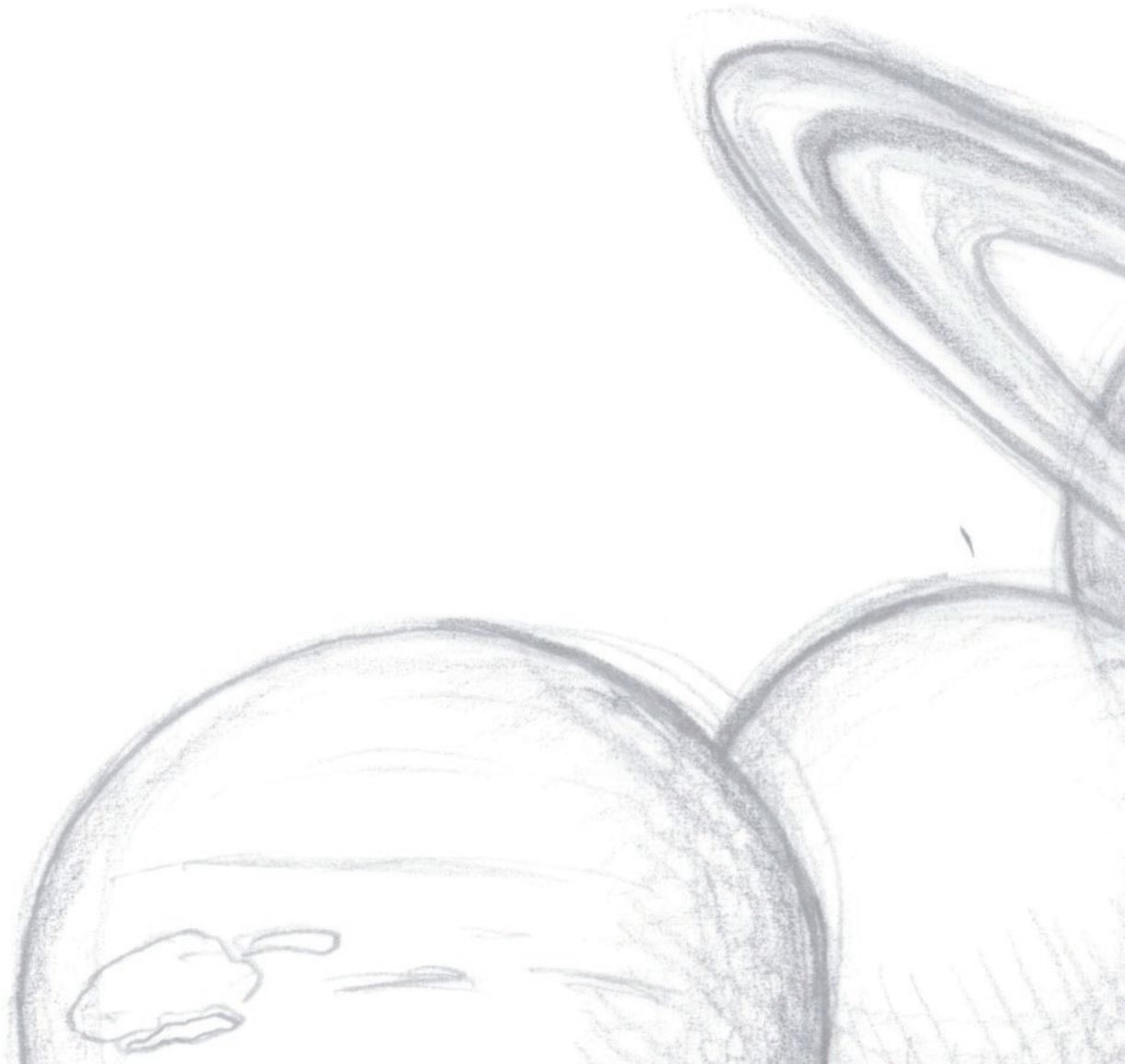
Fronteira Espacial - Parte 1

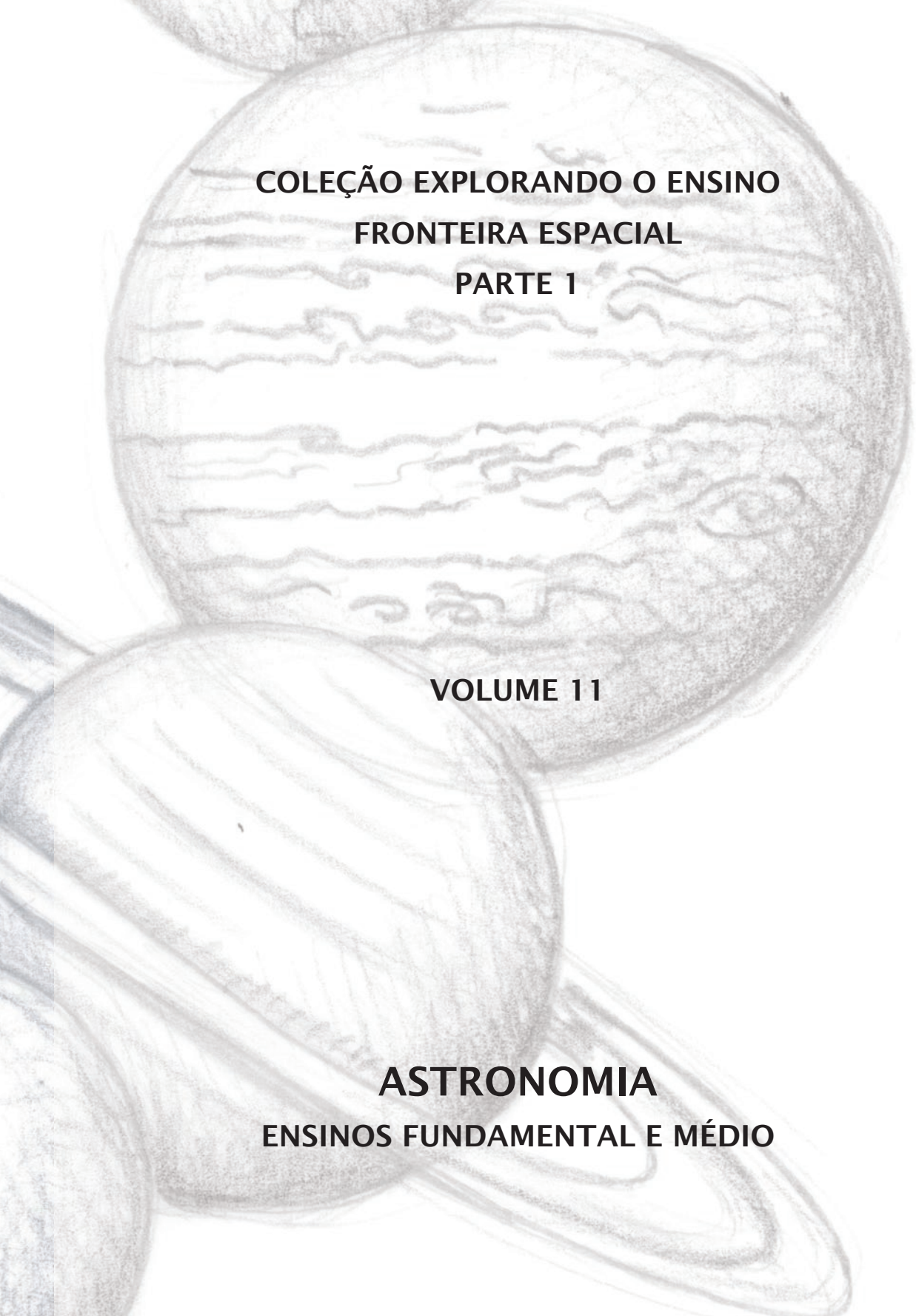
11
VOLUME

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA





COLEÇÃO EXPLORANDO O ENSINO

FRONTEIRA ESPACIAL

PARTE 1

VOLUME 11

ASTRONOMIA

ENSINOS FUNDAMENTAL E MÉDIO

COLEÇÃO EXPLORANDO O ENSINO
Vol. 1 – Matemática (Publicado em 2004)
Vol. 2 – Matemática (Publicado em 2004)
Vol. 3 – Matemática: Ensino Médio (Publicado em 2004)
Vol. 4 – Química
Vol. 5 – Química
Vol. 6 – Biologia
Vol. 7 – Física
Vol. 8 – Geografia
Vol. 9 – Antártica
Vol. 10 – O Brasil e o Meio Ambiente Antártico

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Centro de Informação e Biblioteca em Educação (CIBEC)

Nogueira, Salvador.
Astronomia : ensino fundamental e médio / Salvador Nogueira, João Batista Garcia Canalle.
Brasília : MEC, SEB ; MCT ; AEB, 2009.
232 p. : il. – (Coleção Explorando o ensino ; v. 11)

ISBN 978-85-7783-015-2

Na capa: Fronteira Espacial – Parte 1

1. Astronomia. 2. Ensino fundamental. 3. Ensino médio.
I. Brasil. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica.
II. Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia. III. Agência Espacial Brasileira. IV. Título.

CDU 52

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO BÁSICA

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA

ASTRONOMIA

ENSINOS FUNDAMENTAL E MÉDIO

BRASÍLIA
2009

Secretaria de Educação Básica

Diretoria de Políticas de Formação, Materiais Didáticos e Tecnologias para Educação Básica

Diretoria de Concepções e Orientações Curriculares para Educação Básica

Coordenação-Geral de Materiais Didáticos

Coordenação-Geral de Ensino Médio

Agência Espacial Brasileira

EQUIPE TÉCNICA
Andréa Kluge Pereira
Cecília Correia Lima
Elizângela Carvalho dos Santos
José Ricardo Albernás Lima
Lucineide Bezerra Dantas
Lunalva da Conceição Gomes
Maria Marismene Gonzaga

EQUIPE DE APOIO
Andréa Cristina de Souza Brandão
Leandro Pereira de Oliveira
Paulo Roberto Gonçalves da Cunha

COORDENAÇÃO
Ivette Maria Soares Rodrigues
Gestora do Programa AEB Escola da Agência Espacial Brasileira (AEB)

AUTORIA
Salvador Nogueira

CO-AUTORIA E REVISÃO TÉCNICA
João Batista Garcia Canalle (Uerj)

COLABORAÇÃO
Adelino Carlos Ferreira de Souza (Uerj)
Carlos Eduardo Quintanilha Vaz de Oliveira
Cássio Leandro Dal Ri Barbosa (Univap)
Luiz Bevilacqua (UFABC)
Pâmela Marjorie Correia Coelho (Uerj)
Rodolpho Caniato
Thaís Mothé Diniz (Observatório Nacional)

REVISÃO GERAL
Adilson J. A. de Oliveira (Consultor Ad. do MEC)
Angélica Di Maio (IG/UFF)
Ayrton Lugarinho (SEE/DF)
José Bezerra Pessoa Filho (IAE/CTA)
Kátia Chagas Lucio (Formata)
Petrônio Noronha de Souza (Inpe)

REVISÃO ORTOGRÁFICA
Cely Curado
Yolanda Ribeiro da Silva Souza (Inpe)

PROJETO EDITORIAL
Kátia Chagas Lucio (Formata)

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO
Sueli Prates (AEB/Programa AEB Escola)

CAPA
Leonardo Nemmer (AEB/Programa AEB Escola)

Tiragem 73.634 exemplares

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO BÁSICA
Esplanada dos Ministérios, Bloco L, Sala 500
CEP: 70047-900 Brasília – DF
Tel. (61) 2104-8177 / 2104-8010
http://www.mec.gov.br

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA
Setor Policial Sul (SPO), Quadra 3, Bloco A
CEP: 70610-200 Brasília – DF
Tel. (61) 3411-5024 / 3411-5678
http://www.aeb.gov.br

SUMÁRIO

Parte 1: ASTRONOMIA

APRESENTAÇÃO | 9

INTRODUÇÃO | 17

CAPÍTULO 1

BEM-VINDOS AO UNIVERSO | 21

REVOLUÇÃO AGRÍCOLA | 25

A CAMINHO DO COSMOS GEOCÊNTRICO | 27

INTERRUPÇÃO CIENTÍFICA | 32

ENTRA EM CENA O HELIOCENTRISMO | 34

A GRANDE SÍNTESE | 42

UMA BREVE HISTÓRIA DO UNIVERSO | 46

LEITURA COMPLEMENTAR | 55

ATO DE FÉ OU CONQUISTA DO CONHECIMENTO? | 55

ATIVIDADES | 62

O SISTEMA SOLAR NUMA REPRESENTAÇÃO TEATRAL | 62

RELÓGIO DE SOL | 71

DESENHANDO ELIPSES DE QUALQUER EXCENTRICIDADE | 78

COMPARAÇÃO ENTRE OS TAMANHOS DOS PLANETAS E DO SOL | 81

DESAFIOS | 87

PARTE I | 87

PARTE II | 90

SALA DE PESQUISA | 92

CAPÍTULO 2

APENAS UM LUGAR, DE MUITOS | 97

CONEXÃO SOL-TERRA | 100

CONEXÃO TERRA-LUA | 109

A AMEAÇA QUE VEM DO ESPAÇO | 115

UMA COLEÇÃO DE PLANETAS | 122

LEITURAS COMPLEMENTARES | 128

A QUESTÃO PLUTÃO – RESOLUÇÃO DA UNIÃO ASTRONÔMICA INTERNACIONAL DE 2006 | 128

O SISTEMA SOLAR | 131

ATIVIDADE | 138

EXPLICANDO ASTRONOMIA BÁSICA COM UMA BOLA DE ISOPOR | 138

DESAFIOS | 159

PARTE I | 159

PARTE II | 160

SALA DE PESQUISA | 163

CAPÍTULO 3

OBSERVADORES NO TERCEIRO PLANETA | 167

MENSAGENS SIDERAIS | 173

LUZ INVISÍVEL | 181

ADAPTAÇÃO À ATMOSFERA | 184

LEITURA COMPLEMENTAR | 187

RECONHECENDO OS PLANETAS E AS ESTRELAS | 187

ATIVIDADES | 191

SIMPLIFICANDO A LUNETA COM LENTES DE ÓCULOS | 191

ESPECTROSCÓPIO SOLAR | 201

DESAFIOS | 207

PARTE I | 207

PARTE II | 210

SALA DE PESQUISA | 212

CONCLUSÃO | 215

REFERÊNCIAS | 219

APÊNDICE | 229

OLIMPÍADA BRASILEIRA DE ASTRONOMIA E ASTRONÁUTICA (OBA) | 229

APRESENTAÇÃO

A Secretaria de Educação Básica (SEB) do Ministério da Educação (MEC) e a Agência Espacial Brasileira (AEB/MCT), por meio do Programa AEB Escola, apresentam aos educadores dos Ensinos Fundamental e Médio mais um volume da Coleção Explorando o Ensino, iniciada com os volumes de matemática. A presente obra Fronteira Espacial: volume 11 – Astronomia e volume 12 – Astronáutica tem o objetivo de apoiar o trabalho do educador em sala de aula, oferecendo um rico material didático-pedagógico sobre estas ciências.

Por sua abrangência, a temática "A Fronteira Espacial" foi dividida em dois volumes: Astronomia (volume 11) e Astronáutica (volume 12). O volume 11 aborda a tentativa do ser humano em desvendar os mundos que o cerca, enquanto o volume 12 apresenta a fascinante viagem da nossa espécie a alguns desses mundos. Tratam-se, portanto, de obras complementares.

Os temas desses dois volumes são uma seqüência natural da evolução da ciência e da tecnologia, por isso fizemos questão de desenvolver ambos em conjunto. Pois, enquanto a astronomia é considerada uma das mais antigas das ciências, a Astronáutica é justamente o oposto, ou seja, uma das mais jovens. Observe que enquanto as naves espaciais viajam com motores desligados elas estão submetidas somente às forças gravitacionais, as quais também regem os movimentos dos planetas. Por outro lado, a bordo das naves seguem telescópios, câmeras e outros equipamentos que ajudam os astrônomos a conhecerem melhor o universo em que vivemos. Ou seja, estas duas ciências estão evoluindo de "mãos dadas".

Nos primórdios da civilização o ser humano se encantava com a beleza do céu estrelado, a passagem dos cometas ou com as constantes "estrelas cadentes". Mais recentemente já sabemos que admiravam a Lua e o Sol, os quais consideravam "deuses" e que suas vidas dependiam deles. Assombravam-se com os eventos extraordinários, tais como eclipses, auroras, e com os fenômenos atmosféricos, os quais estão na origem de inúmeros mitos, religiões e filosofias antigas.

Porém, com o passar do tempo começaram a perceber que havia uma regularidade enorme nos céus e que o que acontecia no céu afetava o que ocorria no seu meio ambiente. Perceberam a existência de algumas "estrelas errantes" (os planetas). Faziam festas para comemorar o solstício de inverno, quando então o Sol "parava" de passar cada vez mais "baixo" no céu e voltava a "subir", aquecendo seus dias, o que era fundamental para sua sobrevivência. Esta festa do solstício foi modificada ao longo do tempo e hoje a chamamos de natal. Não seria possível num único livro contar todas as lendas e mitos de todos os povos, inclusive dos nossos indígenas, que também sabiam "ler" o céu, e nem este é nosso objetivo principal aqui.

Em sua racionalidade e curiosidade, a humanidade busca compreender e explicar o que acontece no céu. Muitos pensadores propuseram explicações, erradas ou certas, pois é assim que evolui a ciência e o conhecimento humano.

O estudo da astronomia é sempre um começo para retornarmos ao caminho da exploração. E é por meio da educação, do contínuo exercício da reflexão e da curiosidade, natural nos jovens e crianças, que podemos compreender e interagir com essa realidade que nos cerca e adquirir os instrumentos para transformá-la para melhor.

A presente obra busca, justamente, colocar nas mãos do professor um instrumento para acompanhá-lo em sua missão de construir a sociedade por meio do conhecimento, iniciando pela história da astronomia e daqueles que deixaram sua marca para a civilização. O livro aborda de maneira simples e didática,

mas sem concessões quanto ao rigor matemático e científico, o Sistema Solar, seus planetas e as estrelas, apresentando uma imensa riqueza de ilustrações e informações detalhadas, exercícios e introdução a cálculos astronômicos que se valem dos conhecimentos de matemática, física e geometria geralmente incluídos nos currículos escolares.

Dignas de nota são as atividades propostas, fruto da longa experiência dos autores no ensino da astronomia, que propõem, com materiais de fácil aquisição e montagens simples e robustas, atividades práticas superinteressantes. Trata-se de um verdadeiro arsenal de experiências que, certamente, trarão imensa satisfação aos professores e alunos que as colocarem em prática. Talvez seja neste ponto que este livro se diferencie dos demais já publicados sobre astronomia. Ele não foi escrito para especialistas e sim para auxiliar os professores dos ensinos fundamental e médio em suas atividades de ensino. Como sabemos que o ensino se torna mais prazeroso quando feito com o auxílio de atividades práticas e desafios, fizemos questão de oferecer esses componentes no livro.

No final do capítulo um, por exemplo, há uma proposta para se representar o Sistema Solar em movimento, com a ajuda dos alunos, os quais representariam os planetas, cometas e até mesmo o Sol que gira sobre si e leva todo o sistema solar consigo. Além disso, em cada atividade prática expomos quais são seus objetivos e damos sugestões de problematização para o professor.

Sabendo das dificuldades que qualquer pessoa tem para visualizar as enormes distâncias entre os planetas e o Sol, é apresentado um modo bem simples de representar, ao longo de uma tira de papel, as distâncias dos planetas ao Sol, utilizando-se uma escala.

Com o mesmo intuito, há outra proposta de atividade para se representar os tamanhos dos planetas comparados ao Sol, simplesmente amassando-se papel alumínio (ou similar) para fazer bolas representando os planetas e com um enorme balão representamos o Sol na mesma escala dos planetas. É espantoso o efeito que esta

atividade exerce sobre quem a observa, pois, mesmo sabendo-se os números que definem estas proporções, não se imagina o quanto o Sol é tão grande, se comparado aos planetas. Mostraremos, também, fotos fantásticas comparando os volumes dos planetas; estas, porém, não impressionam tanto quanto "ao vivo".

Outra atividade proposta é a construção de um simples relógio de Sol utilizando-se papelão e palito de dente. Claro que para ele funcionar é preciso estar sob o Sol, mas orientado ao longo da direção norte-sul, e para tanto também é ensinado como se determina esta direção corretamente. Ainda no capítulo um é proposto que se desenhem as elipses referente às órbitas dos planetas com o correto "achatamento", pois em geral se pensa que as órbitas dos planetas são bastante ovaladas, e na verdade não são.

Na sessão "Leituras complementares" do capítulo dois, são apresentadas as razões pelas quais os astrônomos reclassificaram Plutão como um planeta anão. Neste capítulo, há uma atividade prática, em que são apresentadas várias demonstrações que podem ser feitas utilizando-se apenas uma bola de isopor, para melhor compreender fenômenos básicos como dia e noite, eclipses, estações do ano e fases da Lua.

Uma atividade bastante interessante, apresentada no capítulo três, é a construção de uma luneta com uma simples lente de óculos e canos de PVC, ao mesmo tempo em que se experiencia os conceitos de reflexão e refração de imagens. Tendo sua própria luneta, o professor e seus alunos poderão observar as crateras da Lua. Como toda atividade experimental, esta também requer cuidados, pois não se pode observar o Sol, sob o risco de cegar a pessoa.

Enfim, muito cuidado foi tomado com a qualidade do texto e do registro de linguagem utilizado, com a transposição didática dos conteúdos técnicos e com os tópicos para aprofundamento, separados em "caixas de texto" para facilitar o fluxo da leitura e das idéias principais.

Espera-se que tal esforço possa render frutos expressivos nas mãos do professor que se dedica ao conhecimento e à sua transmissão às gerações que nos sucederão rumo às fronteiras do espaço.

A equipe do AEB Escola e todos aqueles que contribuíram para a consecução deste livro desejam a você e aos seus alunos uma boa viagem.

Para facilitar sua viagem, o volume está dividido em três capítulos, enriquecidos com imagens, ilustrações e recursos editoriais que visam tornar sua leitura mais agradável. Além da seção temática é oferecido um conjunto de outras sessões que procuram favorecer a interação, bem como de facilitar e tornar dinâmicas a leitura e a busca de informações. A seguir, apresentamos uma breve descrição da sistemática utilizada:

Estrutura de cada capítulo

1ª Seção – Temática

É o "corpo" do capítulo, que aborda o tema descrito no seu título. Ao longo da seção, o/a leitor/a encontrará elementos interativos e informativos adicionais, incluindo:

Box **"Saiba mais"** – explica ou complementa o que o autor está desenvolvendo. Alguns são elaborados pelo próprio autor da seção e outros por especialistas e colaboradores da Agência Espacial Brasileira (AEB).

Glossário – palavras ou expressões menos usuais, ou mais complexas, são marcadas no texto com cor diferente e seu significado está expresso na margem lateral do texto.

Caixa de destaque – box pequeno, com ícone, inserido ao longo do texto, de leitura rápida, que representa um reforço ou uma complementação ao texto principal.

Biografias – informações sobre a vida de alguns nomes importantes citados pelo autor. Estão dispostas na margem lateral do texto.

2ª Seção – Leituras complementares

Traz textos de autores diversos que ampliam a abordagem desenvolvida na seção temática. Nesta seção, também são utilizados os recursos didáticos apresentados na seção anterior.

3ª Seção – Atividades

Apresenta sugestões de atividades relacionadas à temática explorada no capítulo, as quais já foram realizadas e validadas em sala de aula e em cursos do Programa AEB Escola. Inserida ao final de cada capítulo.

4ª Seção – Desafios

Traz desafios elaborados por especialistas particularmente para o volume e outros, selecionados das várias versões da Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA). A idéia desta seção é divulgar uma estratégia didática que apóia a aprendizagem e estimula os alunos. Apenas alguns desafios têm respostas, de modo que o professor e seus alunos devem procurar resolver os desafios por si só. A equipe do Programa AEB Escola e o sítio da OBA serão seus aliados para essa busca. Caso não consiga resolver, faça contato com a AEB.

5ª Seção – Sala de pesquisa

Apresenta sugestões de referências, sítios, filmes e outros elementos para aprofundamento ou ilustração da temática tratada no capítulo.

Referências

Ao final do volume, o leitor conta ainda com uma lista de referências consultadas ou utilizadas pelo autor da seção temática e colaboradores.

Apêndice

Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA) – Apresenta informações sobre como a OBA funciona e como as escolas podem dela participar.

Disciplinas que podem ser trabalhadas na escola com o apoio do volume "Astronomia":

Capítulo	Seção	Áreas predominantes
Capítulo 1	**Temática**	
	Bem-vindos ao Universo	Geografia, física, história, ciências
	Leitura Complementar	
	Ato de fé ou conquista do conhecimento?	Ética, didática, geografia, matemática, física, história, ciências
	Atividades	
	O Sistema solar numa representação teatral	Geografia, física, história, artes, matemática, ciências
	Relógio de Sol	Geografia, física, história, artes, matemática, ciências
	Desenhando elípses de qualquer excentricidade	Geografia, física, artes, matemática, ciências
	Comparação entre os tamanhos dos planetas e do Sol	Geografia, física, história, artes, matemática, ciências
	Desafios	Geografia, física, matemática, ciências
Capítulo 2	**Temática**	
	Apenas um lugar, de muitos	Geografia, física, história, matemática, ciências
	Leituras Complementares	
	A questão Plutão – Resolução da União Astronômica Internacional de 2006	Geografia, física, história, matemática, ciências
	O Sistema Solar	Geografia, física, história, matemática, ciências, química
	Atividade	
	Explicando astronomia básica com uma bola de isopor	Geografia, física, história, artes, matemática, ciências, química
	Desafios	Geografia, física, história, matemática, ciências, química

Capítulo	Seção	Áreas predominantes
Capítulo 3	**Temática**	
	Observadores no terceiro planeta	Geografia, física, história, artes, matemática, ciências
	Leitura Complementar	
	Reconhecendo os planetas e as estrelas	Geografia, física, história, matemática, ciências
	Atividades	
	Simplificando a luneta com lente de óculos	Geografia, física, história, artes, matemática, ciências
	Espectroscópio solar	Geografia, física, história, artes, matemática, ciências
	Desafios	Geografia, física, história, artes, matemática, ciências

INTRODUÇÃO

O estudo dos astros – ou seja, a **astronomia** – foi a atividade que abriu as portas do mundo da ciência para os seres humanos. No firmamento, os primeiros homens e mulheres, ainda na pré-história, perceberam a existência de mecanismos e ciclos específicos que se refletiam em suas atividades terrenas e eram marcados pela posição das estrelas.

O Sol, a cada dia, criava a divisão entre o dia e a noite. A Lua, a cada volta dada ao redor da Terra, marcava o período conhecido como mês. A posição de determinados agrupamentos de estrelas ao longo do tempo parecia indicar os melhores períodos para plantio e colheita – pistas fundamentais para a sobrevivência dos primeiros agricultores, dezenas de milhares de anos atrás. Finalmente, alguns astros pareciam não seguir o mesmo movimento dos demais, surgindo em variadas posições a cada momento – às vezes até pareciam caminhar para trás durante algumas noites, para depois seguir sua trajetória normal.

O céu era – e é – bem movimentado, mas, ainda assim, inspirava uma certa noção de ordem, de mecanicismo. Não é à toa que deu à luz a percepção de que o mundo podia evoluir a partir de certas regras pré-determinadas – leis da natureza, por assim dizer. Partindo dessa premissa, os antigos puderam travar seu primeiro contato com a noção de ciência. Ainda que de maneira primitiva, esse processo exigia a combinação de observação e criação de hipóteses, fornecendo as bases para o desenvolvimento científico moderno (a despeito dos percalços contra essa forma de interpretar o mundo durante todo o caminho desde a Idade Antiga).

Ao se colocar na base da ciência, a **astronomia** fez sentir sua influência em praticamente todos os ramos do conhecimento

científico. Mas, com a crescente repartição do saber em gavetas estanques (como, por exemplo, as disciplinas lecionadas separadamente em todas as escolas), as noções astronômicas também foram diluídas, e sua importância aparente no ensino decresceu de forma extremada.

Não é difícil perceber os efeitos desse processo. Basta notar que as noções básicas sobre o Sistema Solar são dadas nas aulas de geografia, as leis de movimentos dos planetas estão no curso de física, o andamento da corrida espacial no século 20 está na disciplina de história, e as descobertas mais sofisticadas sobre a origem do universo, pasme, não estão em lugar algum.

Com essa diluição, não só perde o ensino da **astronomia**, mas também o próprio professor, que se vê sem uma poderosa ferramenta de ensino. Uma das coisas que desmotivam os alunos é o fato de que a eles são transferidas indiscriminadamente imensas doses de conhecimentos, mas pouco se fala sobre o porquê de tudo aquilo. O que levou uma considerável parcela das pessoas mais inteligentes do mundo em todos os tempos a desenvolver todas aquelas idéias, hoje transmitidas de forma pouco atraente em sala de aula? Quais as motivações? "Para que serve isso?", é uma pergunta que pode aparecer com freqüência entre os alunos.

Em muitos casos, aquele saber foi produzido na busca ancestral da humanidade de entender sua posição no universo, o velho clichê "de onde viemos e para onde vamos". A despeito de ser uma frase batida, é inegável que nela está embutida uma das principais características humanas – a inabalável curiosidade.

Quando um professor fala de espaço com seus alunos, ele está evocando esse tipo de curiosidade inata. Ao mencionar novos mundos e a busca por vida extraterrestre, ele desperta todo tipo de interesse romântico associado à pesquisa espacial. É o mesmo sentimento que impulsionou o ser humano para a ciência, em um primeiro momento. Ou seja, é uma excelente maneira de "fisgar" os/as alunos/as a se interessarem pelos avanços científicos – pré-requisito indispensável para o desenvolvimento da cidadania nos dias de hoje – e, mais que isso, motivá-los aos estudos.

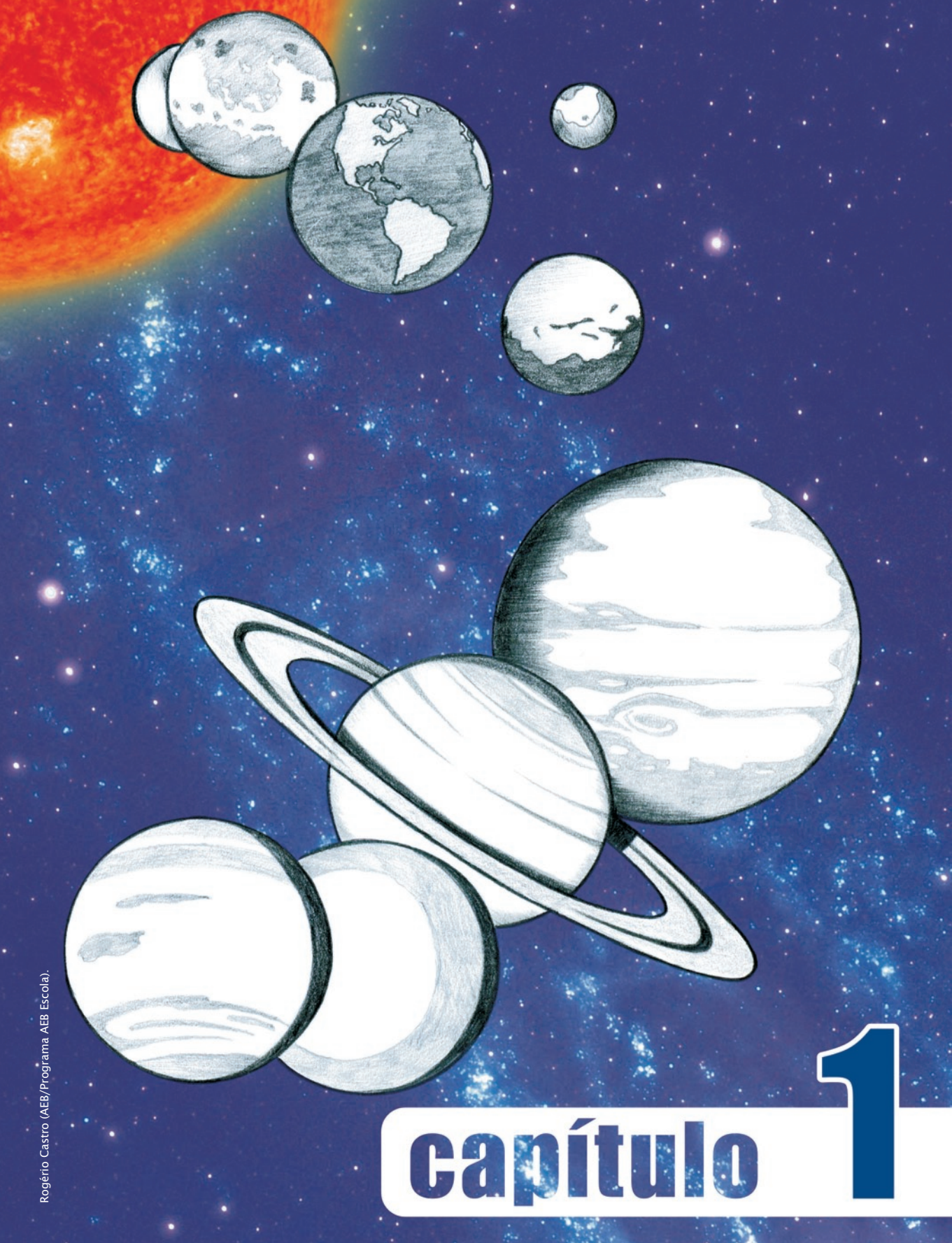
O principal objetivo deste volume é apresentar idéias que possam ser usadas por professores em suas aulas – seja qual for a disciplina – com o objetivo de resgatar esse interesse perdido com a agressiva compartimentalização da ciência. A inspiração e a base deste trabalho está calcada no Programa AEB Escola, da Agência Espacial Brasileira (AEB), que almeja conscientizar os jovens da importância crescente e do caráter indispensável das atividades espaciais, enquanto fornece aos professores meios de fomentar o interesse de seus alunos pela ciência e pela tecnologia.

Aqui, falaremos de como evoluiu o pensamento astronômico, cosmológico e espacial ao longo do tempo. Também traremos, com artigos de especialistas, maneiras de tratar esses assuntos em sala de aula com atividades interativas, elaboradas com criatividade à lá "Professor Pardal", o que implica, necessariamente, praticidade e baixo custo – outro ponto nevrálgico da educação no Brasil.

Uma noção muito comum entre professores é a de que falar de **astronomia** acaba sendo complexo demais – dispendioso demais – para os potenciais benefícios. Uma das idéias que motivaram a redação deste livro é a de que essa complexidade é, em primeiro lugar, em grande parte lendária; em segundo lugar, administrável, e, em terceiro, desejável, no sentido de estimular os alunos a desenvolverem raciocínios mais amplos e relacionarem idéias mais distantes, que em um primeiro momento, parecem não ter ligação.

Os conteúdos aqui apresentados não esgotarão o assunto, mas servirão como ponto de partida para que se possa retomar essa velha e salutar tradição humana, infelizmente caindo em desuso, de falar, refletir, especular e estudar o que acontece no céu. Introduzir noções do que acontece no espaço permite que os/as alunos/as, de forma metafórica, recuperem todo o processo de conhecimento do mundo pelo qual passou o ser humano ao longo dos tempos. Eles entenderão de onde veio a nossa sede científica e, acima de tudo, estarão sendo preparados para a iminente ascensão da humanidade como civilização planetária.

Vamos?

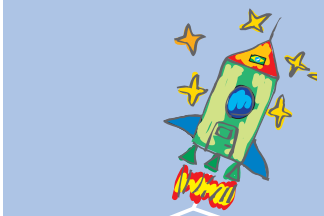


Rogério Castro (AEB/Programa AEB Escola).

capítulo 1

BEM-VINDOS AO UNIVERSO

Salvador Nogueira



Etólogo: cientista que estuda o comportamento animal.

Deixando de lado as frases feitas, é realmente difícil saber o que diferencia o ser humano dos outros animais. Fala-se de "inteligência", mas os **etólogos** hoje sabem muito bem que esse conceito, além de ser de difícil definição, pode ser percebido de diferentes maneiras em inúmeras espécies animais. Podemos até estar no topo da escala, mas, definitivamente, inteligência não é exclusividade do ser humano.

Outro item corriqueiramente utilizado para fazer essa diferenciação é a "autopercepção", que nada mais é do que a capacidade de saber quem você é, no contexto do mundo, e ter a consciência de que você é você. Gatos, como é fácil de constatar, têm dificuldades com isso. Ao se olharem no espelho, eles pensam estar vendo outro gato, e não seu próprio reflexo. Já os elefantes possuem uma autopercepção mais aguda, e o truque do espelho não os engana. Chimpanzés também não têm problemas com isso, e golfinhos parecem até dar nomes a cada indivíduo – o que provavelmente se qualifica como uma prova contundente de que eles se reconhecem cada um como uma "pessoa". Além disso, essa atitude demonstra que a capacidade de "comunicação" – outra palavra que, invariavelmente, aparece na lista das candidatas a diferencial do *Homo sapiens* – não é exclusividade humana.

Para o britânico Lewis Wolpert (1929-), biólogo do *University College de Londres*, a principal diferença, a verdadeira fronteira que separa o ser humano de seus colegas menos intelectualizados do reino animal, é a noção de causa e efeito. Para ele, o ser humano é a única espécie da Terra capaz de entender que certas coisas podem

provocar outras. Mas essa é uma posição extremamente discutível. Muitos etólogos, entre eles Jonathan Balcombe, grande defensor dos direitos dos animais e membro do Physicians Committee for Responsible Medicine [Comitê Clínico para Medicina Responsável], em Washington, nos Estados Unidos, argumentam que há, sim, entre os bichos essa percepção de causa e efeito. Um cão domesticado, por exemplo, com o tempo é capaz de "prever" que, se tiver um comportamento que não é aceito ou esperado, ficará trancado de castigo e sozinho.

É verdade que esse é o tipo de padrão passível de ser obtido pelo mero condicionamento, sem que o animal saiba algo sobre causas e efeitos. Mas, Balcombe lembra que existem comportamentos muito mais sofisticados, que só não podem confirmar definitivamente essa percepção abstrata avançada em outros animais porque somos incapazes de entrar em suas cabeças e saber o que de fato eles estão pensando.

É provável que, no fim das contas, os humanos não tenham de fato nada que os outros animais também não tenham. Com menos arrogância e mais realismo, a diferença pode estar na quantidade desses fatores – autopercepção, inteligência, comunicação, abstração – em vez de na qualidade.

A ciência é a prática que pode ser resumida como a tentativa de desvendar e confirmar por observação os mecanismos que regem a natureza.

Ainda assim, Wolpert toca num ponto crucial dessa constelação de fatores. Pois a noção de que o mundo é composto de causas e efeitos foi o passaporte da humanidade para a ciência.

Definitivamente, ainda que o ser humano não tenha nenhuma característica que outros animais não tenham, em maior ou menor grau, a atitude de fazer ciência é algo próprio e exclusivo do ser humano.

Pensando nesse contexto, não é difícil perceber como essa sofisticada capacidade de estabelecer hipóteses de causa e efeito

levou ao início das especulações científicas, estimuladas pela observação sistemática do céu.

A **astronomia**, como ficou conhecida posteriormente, é a mais antiga das ciências e, ao contrário do que hoje se pode pensar dela, seu surgimento e sofisticação foram derivados não só da fascinação natural que o firmamento exerce sobre qualquer um numa noite estrelada, mas sobretudo, das necessidades práticas humanas quando da época de seu surgimento.

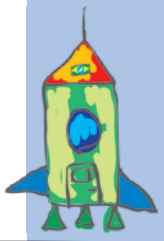
Astronomia: é a ciência que estuda os corpos celestes. Seus ramos mais importantes são a astrometria, que visa à determinação da posição e do movimento dos astros; a mecânica celeste, estudo do movimento dos corpos celestes e determinação de suas órbitas; a astronomia estelar, estudo da composição e do tamanho de sistemas estelares; a astrofísica, estudo das propriedades físicas dos corpos celestes; e a radioastronomia, que investiga o Universo por meio das ondas de rádio.

Contando dias, semanas, meses e anos

A utilidade mais óbvia da observação do céu é a marcação do tempo. Não é difícil notar que, quando o Sol está no céu, o firmamento se torna azul claro, e o ambiente fica iluminado. Foi essa condição que permitiu a locomoção, a caça, a coleta e todas as atividades importantes ao ser humano primitivo, vivendo com dificuldades na África há centenas de milhares de anos. Esmiuçando essas observações, os antigos notaram que, ao longo do tempo, o chamado astro rei parecia fazer uma travessia pelo céu (surgindo na região leste e se pondo para os lados do oeste), e quando ele sumia, em seguida, caía a noite.

A não ser que houvesse nuvens encobrindo a visão, o céu azul claro era trocado por: escuridão, salpicada de um grande número de centelhas de luzes cintilantes. Elas também pareciam fazer uma travessia pelo firmamento ao longo da noite, até que o Sol retornasse e mais uma vez produzisse o clarão do dia.

Cerca de 2.700 dessas "luzes cintilantes" são visíveis a olho nu numa localização com boa visibilidade, e se contarmos todas as estrelas visíveis em ambos os hemisférios, Norte e Sul, podemos chegar a 7.000.



A contagem do tempo em termos desse ciclo é a mais elementar – surge a noção de um dia, período de 24 horas, durante o qual, pela perspectiva daqueles homens e mulheres da pré-história, o Sol voltava à sua posição original depois de atravessar o céu e se esconder "sob o chão". (Leia, na seção de atividades, as orientações

para construir, com facilidade, um relógio de Sol e saber as horas com base na posição do astro no céu.)

A Lua, por sua vez, marcava um ritmo próprio, diferente do solar. Comparando sua posição noite após noite, os primeiros humanos notaram que ela demorava cerca de 30 dias até voltar à mesma posição. Esse ciclo produziu outra noção de tempo, diferente daquela proporcionada pelo Sol, compreendida por períodos que viriam a ser conhecidos como meses.

O aspecto lunar tinha ainda outra peculiaridade: parecia diferente a cada dia. Ora estava com seu brilho máximo, como um disco completo, ora era apenas parcialmente visível, ou simplesmente desaparecia. As fases da Lua – quarto crescente, cheia, quarto minguante e nova – forneciam outra forma de marcação do tempo. Coincidentemente, o período aproximado entre uma fase e outra era de sete dias.

Por conta dessa característica, esses andarilhos celestes – Lua, Mercúrio, Vênus, Sol, Marte, Júpiter e Saturno – ganharam dos gregos o nome de "planetas", palavra que quer dizer "astros errantes".

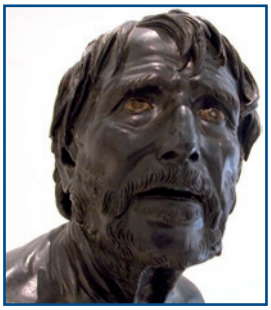
Esse era o mesmo número de astros visíveis no céu (diurno e noturno) que pareciam mudar de posição constantemente, se comparados ao fundo das estrelas fixas. A dupla coincidência, o período entre duas fases e o número de planetas, foi usada para criar outra unidade de marcação do tempo, a semana.

Finalmente, observações atentas revelariam que as estrelas fixas em seu movimento aparente giram ao redor da Terra um pouquinho mais rápido que o Sol – a cada dia, elas nascem exatamente quatro minutos mais cedo. Então, se num dia uma dada estrela aparece no horizonte leste exatamente à meia-noite, no dia seguinte ela aparecerá na mesma posição às 23h56, dois dias depois às 23h52, e assim por diante. Moral da história: levam-se aproximadamente 365 dias e seis horas para que uma estrela volte a nascer exatamente na mesma hora. Surge aí o padrão do ano.

Perceber esses diferentes ciclos ditados pelos movimentos celestes tornou-se extremamente útil quando os humanos primitivos começaram a notar que os diferentes "acontecimentos"

no firmamento correspondiam às situações vivenciadas no chão. Para os caçadores e coletores essa podia ser uma percepção um pouco mais sutil, mas ainda assim muito clara: ao longo do ciclo conhecido por nós como ano, as plantas iam de secas a floridas, o clima ia de mais frio a mais quente, e assim por diante.

REVOLUÇÃO AGRÍCOLA



Massimo Finizio. www.wikipedia.org/

Figura 1.1. Busto localizado no Museu Arqueológico Nacional de Nápoles é uma possível representação do poeta Hesíodo.

Entretanto, é com o surgimento da agricultura, há aproximadamente 13 mil anos, que a observação do céu ganha um valor prático imensurável. Unindo a sofisticada noção humana de causa e efeito às estações do ano, a prática do plantio e da colheita ganha um instrumental extremamente útil.

Hesíodo nos conta em sua obra "Os trabalhos e os dias" como a coisa funcionava:

> Ao despertar das Plêiades, filhas de Atlas, dai início à colheita, e ao seu recolher, à semeadura.
>
> Ordenai a vossos escravos que pisem, em círculos, o trigo sagrado de Deméter, tão logo surja a força de Órion, em local arejado e eira redonda.
>
> Quando Órion e Sírius alcançarem o meio do céu, e que a Aurora dos dedos de rosa conseguir enxergar Arcturo, então, Perseu, colhe e leva para casa todos os cachos das uvas. (SIMAAN e FONTAINE, 2003. p.9).

***Hesíodo** é o mais antigo poeta grego de que se tem notícia com alguma certeza. Viveu por volta do século 7 a.C.*

Plêiades, Órion, Sírius, Arcturo, são todas estrelas ou constelações celestes. Nesse trecho nota-se com grande facilidade a influência que os estudos dos céus tinham nas atividades humanas mais fundamentais, a partir do surgimento da agricultura. Foi graças às técnicas cada vez mais sofisticadas

Nasa. www.nasa.gov/

Figura 1.2. As Plêiades.

Nasa. www.nasa.gov/

Figura 1.3. A estrela Sírius, vista pelo Telescópio Espacial Hubble.

de plantio – portanto, graças à agricultura – que a civilização pôde florescer e saltar do estágio da caça e coleta que marcou a humanidade antes da chamada "**revolução neolítica**", ocorrida há cerca de 10 mil anos.

Claro, com poucos conhecimentos é muito difícil distinguir correlações de causas e efeitos. Para os antigos, o momento em que as estrelas nasciam ou se punham não indicava apenas a época em que dados fenômenos aconteciam. Mais que isso, eles acreditavam que as próprias estrelas, naquela posição, provocavam essas ocorrências. Não é à toa que os céus, com sua aparência misteriosa e sua (então) clara capacidade de interferir em acontecimentos terrenos, ganhariam um *status* divino.

Revolução neolítica: termo designado para descrever a transição de certos grupos humanos de caçadores e coletores a agricultores durante a pré-história humana.

Vênus, a deusa do amor; Mercúrio, o mensageiro; Marte, o deus da guerra; Júpiter, o deus dos deuses; Saturno, o "avô" dos deuses, pai de Júpiter.

Os primeiros grandes astrônomos vieram da Mesopotâmia, região entre os rios Tigre e Eufrates onde hoje está o Iraque, e sua influência se fez sentir no mundo ocidental por meio da influência que transmitiram aos gregos.

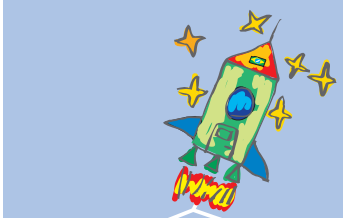
Até onde se sabe, foram os babilônios, um dos povos que habitavam aquela região, que passaram a atribuir a cada um dos planetas o nome de um deus de sua religião politeísta. Vênus era Ishtar; Júpiter era Marduk; e assim por diante. Ao chegar ao mundo helênico, houve uma adaptação dessa tradição, e os deuses babilônios foram trocados por seus equivalentes gregos. No final, o nome que permaneceu foi o dos romanos: Vênus, Mercúrio, Marte, Júpiter e Saturno.

Foi também graças à tradição grega que o firmamento perdeu um pouco de seu caráter divino, e alguns pensadores decidiram dedicar-se à tarefa de decifrar o que significavam todos aqueles movimentos – buscar relações de causa e efeito mais sofisticadas do que as implicadas por um ambiente celeste misturado ao divino,

com ações de deuses caricatos produzindo tudo que se observava na Terra. Neste momento, sim, nascia a astronomia para valer.

A CAMINHO DO COSMOS GEOCÊNTRICO

A influência dos mesopotâmicos e egípcios no conhecimento astronômico da Grécia Antiga foi notável. As **constelações**, por exemplo, vieram de lá. O primeiro a sistematizar essa organização das chamadas "estrelas fixas" em agrupamentos reconhecíveis foi Eudóxio de Cnido (408 a.C.-347 a.C.). Embora a primeira referência conhecida deles remeta ao trabalho desse grego, fica claro que o conhecimento não era originário dele, mas sim de estudiosos da Mesopotâmia – que, no final das contas, não foram os únicos a ter essa idéia. Assim como eles, todos os povos de uma forma ou de outra, cada um a seu próprio tempo, agruparam as estrelas e a elas associaram objetos, deuses, mitos, seres etc., inclusive os índios brasileiros.



Constelações: aparentes agrupamentos reconhecíveis de "estrelas fixas".

Essa, no entanto, era apenas mais uma ação de categorização, sem qualquer pretensão de fornecer explicações de como o mundo estava organizado. O modo de pensar mesopotâmico não permitia avançar muito mais, mas a Grécia, com seus grandes filósofos e uma liberdade maior de pensamento e religião, proporcionaria uma reflexão mais sofisticada dos fenômenos celestes. A começar pela definição da forma da Terra.

Ao contrário do que se costuma pensar, desde muito cedo os pensadores desconfiaram de que o mundo não fosse plano, achatado. Numa civilização de navegantes, como a grega, não era rara a oportunidade de observar um navio se afastando no horizonte. Essa simples observação já indicava que a Terra, a grandes distâncias, possuía uma curvatura – conforme a embarcação se afastava, primeiro a parte inferior do navio desaparecia do horizonte, e a última coisa a sumir era o mastro, no topo, como se a embarcação estivesse "descendo"; na verdade, acompanhava a curvatura terrestre.

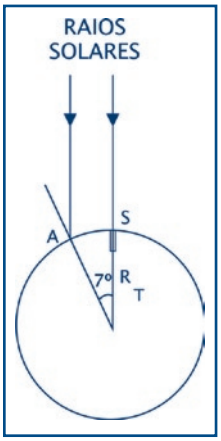
Saiba mais...

Eratóstenes determina o raio da Terra

João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Eratóstenes foi um sábio grego nascido em Cirene em 276 a.C. e falecido em Alexandria cerca de 193 a.C. Ele se dedicou a várias áreas do conhecimento: geografia, matemática, geometria, filosofia, poesia etc. Entre seus maiores feitos está a determinação do raio da Terra.

Com base em observações, Eratóstenes sabia que em Siene (S), num certo dia do ano, o Sol ficava a pino (no zênite) e que no mesmo dia, em Alexandria (A), (a oitocentos mil metros de Siene) o Sol ficava a 7º (sete graus do zênite. Veja figura); logo, temos a seguinte regra de 3:



$$\frac{2\pi R_T}{800.000} = \frac{360º}{7º}$$

$2\pi R_T$ é o comprimento do círculo.

Comprimento do círculo:

$$\therefore 2\pi R_T 7º = 800.000 \text{ x } 360º \therefore R_T = \frac{800.000 \text{ x } 360º}{2\pi 7º} = 6.548.000 \text{ m}$$

ou $R_T = 6.548$ km

Esse valor que ele encontrou não é exato, mas muito próximo do valor moderno. Hoje, sabe-se que a Terra tem raio de 6.378 km.

O primeiro a formalizar esse pensamento foi Anaximandro, no século 6 a.C. Partindo dessa observação elementar, ele concluiu que a Terra na verdade era... um cilindro! Somente mais tarde, com a popularização da noção grega clássica de que a esfera é a forma geométrica mais perfeita (em grande parte proporcionada pela atribuição de Pitágoras ao valor da matemática como significado real do mundo), a Terra seria considerada uma esfera – pensamento que predominou desde então, ao menos entre os mais estudados.

Foi com Eudóxio que esse tratamento "esférico" acabou estendido a todo o cosmos. Ele organizou o Universo com a Terra no centro, esférica e imóvel, envolta por diversas outras esferas que explicavam o movimento das estrelas fixas, já mencionado,

e dos sete "planetas" (na concepção geocêntrica do mundo, esse termo incluía também o Sol e a Lua), que se posicionavam, a cada dia, ligeiramente diferentes em relação às estrelas e algumas vezes pareciam fazer ziguezagues difíceis de explicar.

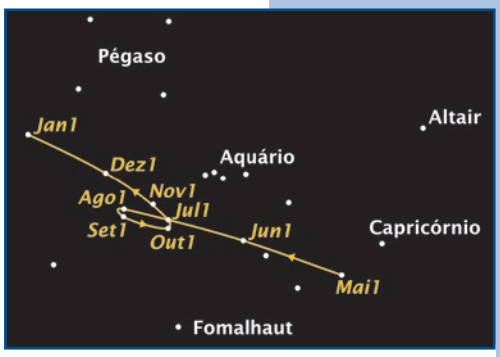


Figura 1.4. Um ziguezague planetário: trajetória de Marte entre maio de 1956 e janeiro de 1957.

Adaptação de imagem publicada nos livros de G.E.R. Lloyd, *Early Greek Science: Thales to Aristotle (EGS)* e *Greek Science after Aristotle (GSA)*, Norton, Nova Iorque, 1970 e 1973, pg. 87. Disponível em www.cfh.ufsc.br/~wfil/cienciagrega.htm/

Uma esfera, é claro, não bastava para esclarecer todos os movimentos planetários, de modo que Eudóxio teve que atribuir quatro esferas para o Sol, quatro para a Lua, e três para os demais planetas conhecidos (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno), mais uma para as estrelas fixas – a última camada do cosmos, visto então como finito. No total, 27 esferas participavam do esquema.

Mas esse modelo jamais foi capaz de explicar satisfatoriamente todas as observações astronômicas. Conclusão natural, portanto, que ele tenha sido gradativamente "aperfeiçoado", com a inclusão de novas esferas, ainda que mantido sobre suas premissas iniciais. Nesse sentido, destacou-se o trabalho de Aristóteles (384 a.C.-322 a.C.), filósofo grego que começou como discípulo de Platão, mas logo passou a rivalizar com o antigo mestre.

Raffaello Sanzio. www.wikipedia.org/

Figura 1.5. Platão (esq.) e Aristóteles, imaginados em quadro de Raffaello Sanzio, de 1509.

Platão (427 a.C.-347 a.C.) acreditava que todas as observações à nossa volta eram meras sombras, e que a Verdade, com "vê" maiúsculo, escondia-se num outro plano, o chamado "mundo das idéias". Essa realidade, para ele, era acessível apenas pela razão.

Aristóteles, em contrapartida, acreditava que as observações,

***Aristóteles**, filósofo grego, nasceu em 384 a.C. em Estagira, Macedônia, e morreu em Cálcis, em 322 a.C. Desenvolveu quase todos os ramos de conhecimentos existentes no seu tempo, criou os fundamentos da lógica, da crítica literária e da meteorologia. Sistematizou a astronomia, adotando e desenvolvendo a teoria das esferas concêntricas de Eudóxio.*

combinadas à razão, produziriam uma visão satisfatória da realidade física. Assim interpretado, seu pensamento iniciou o binômio hipótese-observação que serviria de alicerce para a ciência moderna.

No entanto, ao ser o iniciador de tal movimento, Aristóteles ainda faria muitas suposições equivocadas sobre a natureza do mundo.

O modelo aristotélico

Ao construir sua própria visão do cosmos, Aristóteles adotou o modelo de Eudóxio, que pode ser, grosso modo, descrito como uma "cebola", com diversas camadas concêntricas. Mas Aristóteles fez seus próprios aperfeiçoamentos ao modelo, tentando ampliar seu poder preditivo – o que acarretou o aumento do número total de esferas para 56. Havia até esferas sem nenhum astro nelas, chamadas de *anastros*. E a interpretação aristotélica também tornava a idéia da "cebola" mais literal; agora as esferas que comandavam o movimento dos astros não eram apenas um artifício matemático, mas algo real, palpável, que ele chamou de *orbes*.

Mas o mais interessante de todo o trabalho de Aristóteles é o fato de que ele não se contentou em criar um modelo capaz de explicar as observações. E ousou formular hipóteses sobre o porquê de as coisas serem como são. Não seria exagero dizer que, ao tentar explicar o Universo inteiro, o grego deu um pontapé inicial em diversas ciências, como a química, a física e, claro, a cosmologia.

Para Aristóteles, todas as coisas existentes no mundo são compostas por quatro elementos: água, terra, fogo e ar. Cada um desses elementos possuía o que ele chamou de "lugar natural". Assim, terra e água tinham seu lugar natural no centro da Terra – se deixados a seu próprio comando, é para lá que eles rumariam. Já fogo e ar teriam a tendência oposta. Por isso, diz o filósofo grego: "a chama de uma vela parece ir para cima, assim como a fumaça que ela produz, ao passo que a água jorra de uma cachoeira sempre de cima para baixo".

Em meio a essas explicações – que de fato pareciam servir para esclarecer diversos fenômenos, embora hoje estejam totalmente ultrapassadas –, Aristóteles também estabeleceu uma diferença

crucial entre o mundo celeste e o terreno. Para ele, os quatro elementos eram parte apenas da esfera sublunar (abaixo da Lua), uma região "imperfeita", onde havia mudança, transformação. Acima da Lua, na esfera supralunar, os *orbes* e os astros eram compostos pelo famoso "quinto elemento", ou quintessência, também chamado de "éter". Lá, reinavam a organização perfeita e a imutabilidade. Para Aristóteles, o mundo celeste era o que sempre foi e o que sempre será, eterno e livre de transformações.

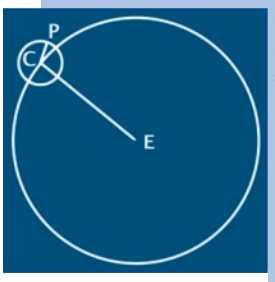
Mesmo com suas 56 esferas, o modelo aristotélico tinha problemas para ser conciliado à observação. Resultado: adicionaram-se mais complicações.

Cláudio Ptolomeu *foi um astrônomo, geógrafo e matemático alexandrino que viveu entre 90 e 168 Sua principal obra é o grande sistema astronômico, em grego, que ficou conhecido como Almagesto na versão árabe.*

O auge dessa técnica de "correção" ocorreu com o trabalho de Cláudio Ptolomeu (90-168), o grego de Alexandria que, durante o apogeu do Império Romano, produziu a principal obra astronômica da Antiguidade – a "Composição Matemática", que acabou ficando mais famosa pelo seu nome árabe: *Almagesto*.

Wikipedia. www.wikipedia.org/

Figura 1.6. Representação medieval de Cláudio Ptolomeu.



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 1.7. Movimento em epiciclos.

Além de incluir o catálogo de estrelas "fixas" mais completo do mundo antigo, com 1.022 itens, o livro também apresentava registros de observações abundantes e um sofisticado modelo matemático do cosmos. Na versão ptolomaica do mundo, os planetas giravam não somente em torno da Terra, segundo trajetórias circulares, mas também em circuitos circulares que "circulavam" ao longo de suas órbitas, os chamados epiciclos.

Reprodução de imagem publicada no livro *Selenographia* (1647), de Johannes Hevelius. Disponível em www.hps.cam.ac.uk/starry/copercosmol.html/.

Figura 1.8. Modelo simplificado do Cosmos de Ptolomeu, sem a representação dos epiciclos e deferentes.

Complicado? Basta pensar numa roda-gigante. Enquanto ela gira, as gôndolas penduradas nela precisam também girar, para que as pessoas dentro não fiquem de cabeça para baixo. Esse conjunto de círculos associados a círculos (chamados de epiciclos

e deferentes) era razoavelmente eficiente para "salvar as aparências", ou seja, explicar e prever os movimentos celestes, de forma que passou quase quinze séculos sem ser questionado seriamente.

Mas isso não duraria para sempre.

Rotundidade da Terra: é o grau de esfericidade do planeta. Ela é quase esférica, mas não perfeitamente – é ligeiramente achatada nos pólos, ou seja, tem diâmetro polar menor que o diâmetro equatorial.

INTERRUPÇÃO CIENTÍFICA

Com o fim do Império Romano e sua pilhagem por pequenos reinos bárbaros, o Ocidente perdeu sua tradição científica. Os interesses passaram a se voltar para o cristianismo, que ascendia como religião dominante na região e induzia a um retrocesso no modo leigo de pensar o mundo. Até mesmo a **rotundidade da Terra** passou a ser questionada, e os pensadores cristãos repudiavam a busca do conhecimento – astronômico ou não.

Escreveu Santo Agostinho (354-430), um dos primeiros grandes representantes do pensamento religioso da Idade Média (muito embora ele a preceda em cerca de meio século), em suas "Confissões":

> Outra forma de complexidade ainda mais perigosa (que a da carne [...]) é a vã curiosidade que se esconde sob o nome de conhecimento e ciência. [...] Foi esta doença da curiosidade [...] que nos induziu a perscrutar os misteriosos segredos da natureza exterior a nós, segredos que não adianta conhecer e onde os homens não buscam nada além desse próprio conhecimento. [...] Não me interessa conhecer o curso dos astros. (apud SIMAAN e FONTAINE, 2003, p.p.70-79).

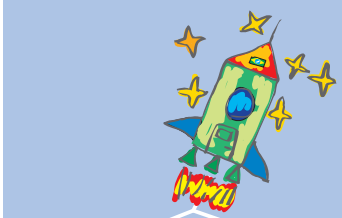
Sob essa argumentação, invalidava-se todo o esforço feito até Ptolomeu para dar explicação aos fenômenos celestes. Com esse combate sistemático às indagações conduzidas até então pela Grécia clássica, muito do que se sabia no mundo ocidental sobre os antigos pensadores seria perdido. Por sorte, no Oriente, um grande império se formava: inspirados pela religião islâmica, os árabes conquistariam vastos territórios, da Ásia ao norte da África e até à Península Ibérica (Espanha).

No Império Árabe, a liberdade de pensamento era maior e a astronomia seguiu evoluindo. Observações mais precisas foram

realizadas, instrumentos aperfeiçoados, e o astrônomo e matemático Ibn El Hhaytam (965-1039), cujo nome ocidentalizado era Alhazen, fez grandes desenvolvimentos no estudo da **óptica**, dando explicações mais convincentes sobre a natureza da luz. Entretanto, ninguém ousou questionar o modelo geocêntrico de Ptolomeu, com a Terra imóvel no centro do Universo.

A partir dos séculos 11 e 12, com as Cruzadas, incursões militares cristãs para ocupar Jerusalém e outras partes da Palestina, e a Reconquista, processo da retomada da Espanha pelos europeus, o conhecimento armazenado no mundo árabe voltou a ter contato com o Ocidente.

A Igreja reduz seu combate ao saber científico e recupera grandes nomes, como Aristóteles, que são reincorporados ao modo de pensar ocidental. O resgate se deve a personagens importantes na filosofia da Idade Média, como Santo Tomás de Aquino (1227-1274). Retoma-se com mais afinco o estudo dos céus, e não é por coincidência que esse período também propicia o desenvolvimento das chamadas "Grandes Navegações".



Óptica: é o ramo da física que estuda o comportamento e as propriedades físicas da luz, incluindo sua interação com a matéria.

O céu, o único ponto de referência

Numa travessia transoceânica, o único ponto de referência possível é o céu, por meio das estrelas, e todas as embarcações necessariamente tinham um astrônomo a bordo. Embora não houvesse meio preciso, na época, de determinar a longitude (ou seja, a posição horizontal em um mapa), os astros serviam como excelente referência para a indicação da latitude (a posição vertical), resolvendo metade do serviço em termos de determinação da posição.

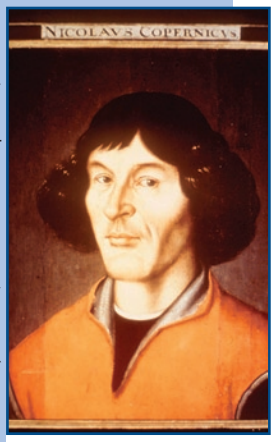
Os conhecimentos astronômicos, aliás, foram essenciais não só para a expansão européia sobre o globo mas para todos os povos que praticaram a navegação com alguma competência. Os chineses, por exemplo, que conceberam frotas avançadíssimas de navios, antes dos europeus, tinham astronomia similarmente desenvolvida. Mas para o Ocidente, esse interesse só se reacendeu no fim da Idade Média.

ENTRA EM CENA O HELIOCENTRISMO

Nicolau Copérnico *foi um astrônomo polonês nascido em Torum (hoje Thorn) às margens do Vístula, em 19 de fevereiro de 1473, e falecido em Frauenburg, em 24 de maio de 1543. Escreveu "Sobre a Revolução dos Orbes Celestes".*

É nesse contexto que surge a figura de Nicolau Copérnico (1473-1543), o polonês que não só ousou colocar o Sol no centro do sistema planetário, como também mostrou capacidade intelectual suficiente para que sua proposta prevalecesse.

Embora sempre tenha sido um apaixonado pela astronomia, Copérnico se viu às voltas com uma carreira monástica. A despeito do repúdio da Igreja pelo pensamento crítico (por vezes perto demais de idéias "heréticas" para ser tolerado), era inegável que as melhores oportunidades de ensino estavam entre os padres, e o polonês tomou vantagem dessa posição para desenvolver suas idéias. Ainda assim, temeroso do que poderia desencadear, foi relutante até o final. Diz-se que sua grande obra, *De revolutionibus orbium coelestium* [Sobre as revoluções dos orbes (corpos) celestes], só foi publicada quando Copérnico estava em seu leito de morte, e com uma introdução que não foi escrita pelo autor, ressaltando que as hipóteses ali apresentadas não deveriam ser levadas como uma descrição da realidade, mas, sim mero artifício matemático para corrigir problemas no modelo ptolomaico. Numa paráfrase do astrônomo Carl Sagan, ela dizia:



Reprodução de pintura de Copérnico de autor desconhecido, que se encontra na Prefeitura Municipal de Torun, Polônia (cidade natal de Copérnico).

Figura 1.9. Nicolau Copérnico, em retrato pintado em sua cidade natal no início do século 16.

> Prezado leitor, quando você ler esse livro, pode parecer que o autor está dizendo que a Terra não está no centro do Universo. Na verdade, ele não acredita nisso. Veja, este livro é para matemáticos. Se você quiser saber onde Júpiter estará dois anos depois da próxima quarta-feira, você pode ter uma reposta precisa tomando como hipótese que o Sol esteja no centro. Mas isso é meramente ficção matemática. Isso não desafia nossa fé sagrada. Por favor, não fique inquieto ao ler este livro. (CARL SAGAN, 2001, p.167).

Copérnico não foi o primeiro a desenvolver um sistema heliocêntrico, ou seja, com o Sol no centro. Na Grécia Antiga, Aristarco de Samos (310 a.C.-230 a.C.) propôs esquema idêntico, mas na época a idéia não foi bem recebida. Até o século de Copérnico, na verdade, havia grande oposição à idéia heliocêntrica. Em termos religiosos,

porque era inconcebível que Deus não tivesse colocado a Terra no centro do Universo. Em termos práticos, porque o heliocentrismo exigia que a Terra realizasse dois movimentos, um de rotação e outro de translação ao redor do Sol. O primeiro, argumentavam Aristóteles e seu discípulo (Ptolomeu), era claramente falso. Afinal de contas, se a Terra estivesse mesmo girando, quem atirasse uma pedra verticalmente para cima não a veria cair no ponto de partida, e sim mais para trás, uma vez que o planeta teria avançado um pouco em sua rotação. Parece um argumento razoável, quando não se sabe como funciona a lei da inércia.

NICOLAI COPERNICI
net, in quo terram cum orbe lunari tanquam epicyclo contineri diximus. Quinto loco Venus nono mense reducitur. Sextum denique locum Mercurius tenet, octuaginta dierum spacio circũ currens. In medio uero omnium residet Sol. Quis enim in hoc
pulcherrimo templo lampadem hanc in alio uel meliori loco ponet, quàm unde totum simul possit illuminare? Siquidem non inepte quidam lucernam mundi, alij mentem, alij rectorem uocant. Trimegistus uisibilem Deum, Sophoclis Electra intuentẽ omnia. Ita profecto tanquam in solio regali Sol residens circumagentem gubernat Astrorum familiam. Tellus quoq; minime fraudatur lunari ministerio, sed ut Aristoteles de animalibus ait, maximã Luna cũ terra cognationẽ habet. Concipit interea à Sole terra, & impregnatur annuo partu. Inuenimus igitur sub hac
Sol.

Figura 1.10. Modelo simplificado do Cosmos de Copérnico.

Reprodução de imagem do livro de Copérnico, "*De revolutionibus orbium cœlestium, Libri VI*", primeira edição, publicada no dia 24 de maio de 1543.

Outro argumento contra o heliocentrismo era o fato de que, se a Terra realmente se deslocasse numa órbita ao redor do Sol, as estrelas fixas deveriam aparecer em diferentes disposições no céu, dependendo de que lado de sua trajetória circular o planeta estivesse. A solução para esse dilema é simples, mas difícil de acreditar com a mentalidade da época: bastava imaginar que as estrelas ditas fixas estavam muito mais longe do que antes se supunha, de modo que a órbita da Terra fosse minúscula se comparada a essas distâncias.

Ciente dessa oposição ferrenha, ainda assim, Copérnico tinha razões para crer que seu modelo era mais razoável. Pois, se a rotação terrestre parecia um desafio, fazer girar a uma velocidade estonteante uma esfera de estrelas fixas muito maior que a Terra parecia ainda mais absurdo. E o modelo heliocêntrico ajuda a explicar os estranhos ziguezagues de alguns planetas no céu.

Víctor Jimenez (AEB/Programa AEB Escola). Adaptação de ilustração publicada no livro "O Despertar na Via Láctea" de Timothy Ferris.

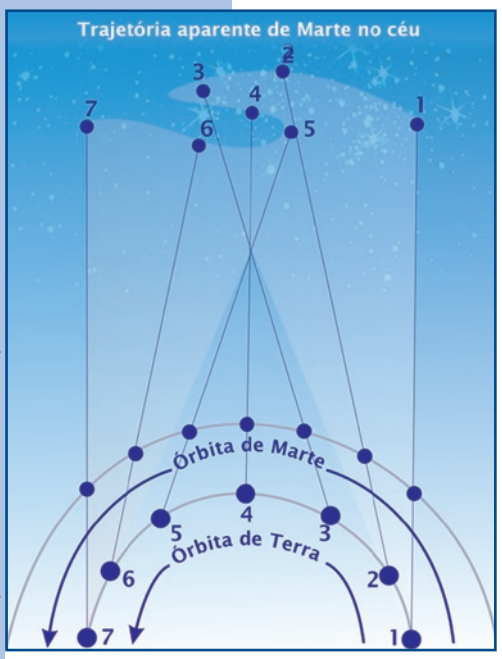


Figura 1.11. A representação do Cosmos com o Sol no centro do Sistema Solar e a Terra como apenas mais um planeta girando em torno dele ajuda a explicar como alguns planetas (com órbitas além da terrestre) podem fazer movimentos aparentes em ziguezague no céu, conforme ambos avançam em suas órbitas.

Nota – Esquematização do sistema híbrido de Tycho Brahe, publicado originalmente em francês.

Com sua obra, o polonês abriu uma porta que jamais voltaria a ser fechada. De fato, o seu modelo heliocêntrico parecia concordar mais com as observações do que o de Ptolomeu, e logo muitos cientistas se entusiasmaram pela novidade. Entre eles, dois dos mais importantes foram o alemão Johannes Kepler (1571-1630) e o italiano Galileu Galilei (1564-1642). Mas o geocentrismo ainda tentaria uma última cartada com o maior astrônomo de seu tempo, o dinamarquês Tycho Brahe (1546-1601).

Muito rico e um encrenqueiro de primeira (conta-se que ele perdeu o nariz, substituído por uma prótese metálica, após um duelo disputado por uma discordância sobre uma equação matemática), o homem construiu na ilha Hven o mais suntuoso observatório da época, Uraniborg. Lá, durante muitos anos, ele fez as medições mais exatas jamais vistas.

Um de seus vários sucessos foi no estudo, em 1572, de uma nova estrela que antes não era vista, mas depois passou a brilhar intensamente no céu, para então voltar a sumir. Hoje, sabemos que o fenômeno está associado à morte de estrelas, mas, aos olhos daqueles homens, parecia ser um novo astro, não um moribundo.

***Johannes Kepler**, astrônomo alemão, nasceu em Wurttemberg a 27 de dezembro de 1571 e faleceu em Ratisbona a 15 de novembro de 1630. Publicou Astronomia Nova (1609). Foi de sua autoria o primeiro tratado de vulgarização dos logaritmos.*

Tycho também teve a chance de coordenar um esforço para determinar a distância de um cometa que surgiu nos céus em 1577, constatando que ele não estava na esfera sublunar. Aristóteles atribuía uma natureza atmosférica aos cometas – tidos supersticiosamente como o anúncio de grandes catástrofes, por seu aparecimento repentino, exuberante e imprevisível. Afinal, para ele, o único lugar para coisas em mutação era abaixo da esfera lunar.

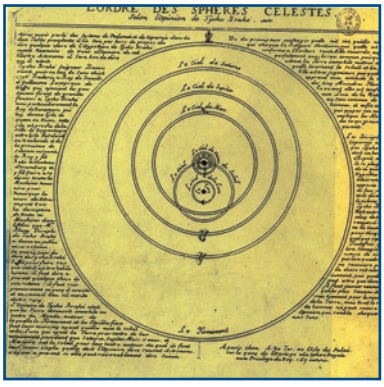
As observações de Tycho da nova estrela e desse cometa derrubariam esse preceito aristotélico. Ainda assim, o dinamarquês era relutante em ir até o final na revolução e dispensar o geocentrismo.

Reprodução de pintura de Tycho que se encontra no Palácio de Frederiksborg, Museu de História Nacional da Dinamarca. É de autoria desconhecida e foi pintada por volta de 1600.

Figura 1.12. Tycho Brahe.

Em vez disso, ele usou suas observações para criar um modelo que era alternativo ao de Aristóteles e Ptolomeu – mas também ao de Copérnico. Praticamente um meio-termo entre eles, o sistema colocava todos os planetas girando em torno do Sol, que por sua vez, com a Lua, girava em torno da Terra, que seguia sendo o centro do Universo. Em termos de predições, o modelo híbrido não funcionava direito. Mas, num mundo em que há três modelos diferentes do cosmos e nenhum deles resolve o problema a contento, Tycho não parecia ficar muito atrás de seus predecessores.

Ainda assim, o dinamarquês tomou o passo decisivo que colocou a humanidade no caminho do heliocentrismo, ao contratar o jovem e promissor Kepler, em 1600, para trabalhar com ele no castelo de Benátky, para onde sua equipe havia se mudado dois anos antes.



Reprodução da esquematização do sistema híbrido de Tycho Brahe, publicado em francês.

Figura 1.13. O modelo híbrido do Cosmos de Tycho Brahe, com a Terra no centro do Universo e os planetas girando ao redor do Sol.

Os dois batiam de frente. Kepler, novo e ambicioso, tinha seus próprios objetivos – provar com observações a correção do sistema copernicano; Tycho, mais experiente, mas, sem os lampejos de seu colega, não queria ver sua utilidade esgotada. Mais de uma vez o alemão ameaçou deixar Benátky, o que acabou encostando o veterano na parede. Tycho então

***Tycho Brahe**, astrônomo dinamarquês que viveu de 1546 a 1601. Sua primeira e mais importante observação foi a descoberta de uma estrela nova em novembro de 1572, na constelação de Cassiopéia, exposta no livro "Sobre a Estrela Nova", de 1576. Foi quem primeiro corrigiu suas observações de refração e redigiu um catálogo de estrelas. As observações do movimento do planeta Marte (dez oposições) efetuadas por Brahe permitiram o estabelecimento das três leis de Kepler, que reformularam toda a astronomia.*

resolveu dar uma tarefa relevante a seu ávido colaborador: determinar com precisão a órbita de Marte.

O dinamarquês sabia o quanto a missão era árdua. Por ser um dos planetas mais próximos da Terra, sua trajetória no céu era bastante conhecida – e não se encaixava em nada com as previsões feitas pelos modelos de Ptolomeu, Copérnico e Tycho. Resultado: a despeito de sua genialidade, Kepler levou oito anos para decifrar o enigma, que cobrou do astrônomo alemão o sacrifício da única coisa que unia os conceitos cosmológicos de então: a esfera.

Elipse: conjunto de todos os pontos cujas somas das distâncias a dois dados pontos (chamados focos) é uma constante. O círculo é o caso particular da elipse quando os dois focos estão no mesmo lugar.

Os precisos dados observacionais de Tycho revelaram a Kepler o verdadeiro formato da órbita marciana: uma **elipse**, com o Sol posicionado em um de seus focos!

Kepler descobriu que o sistema de Copérnico funcionava perfeitamente se fossem dele retirados os círculos – impregnados no pensar científico desde a adoração às esferas nos tempos gregos como a forma geométrica mais perfeita – e colocados no lugar elipses, com o Sol em um de seus dois focos. Na verdade, a natureza surpreendeu a todos, pois o Sol não está no centro das órbitas elípticas.

A descoberta da órbita elíptica só foi possível graças aos precisos dados observacionais realizados por Tycho Brahe, pois a diferença entre a órbita circular e a elíptica, para o caso de Marte, é muito pequena.

Certamente Kepler, no início, deve ter ficado tentado a atribuir os pontos da órbita que ficavam fora do círculo por conta de erros de observação, mas ele confiava na precisão das medições de Tycho Brahe, de modo que teve mesmo que se render à evidência dos fatos, ou seja, a órbita de Marte não era um círculo e sim uma elipse, com o Sol num dos focos.

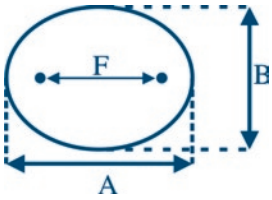
Para você ter uma idéia de como as órbitas dos planetas do Sistema Solar são tão próximas de círculos (apesar de em muitos livros didáticos as vermos erradamente como elipses superexcêntricas, ou seja, muito achatadas), veja na Figura 1.15 as órbitas dos oito planetas do Sistema Solar, com sua excentricidade correta.

A excentricidade da elipse

João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Dada uma elipse qualquer, a excentricidade (e) dela é definida pela razão entre a distância entre seus focos, que vamos chamar de F, e o comprimento do seu eixo maior, que vamos chamar de A, ou seja:

$$e = \frac{F}{A}$$



Dada uma elipse qualquer, também podemos determinar a excentricidade (e) dela simplesmente medindo seus eixos maior (A) e menor (B) e usando a equação abaixo:

$$e = \sqrt{1 - \left(\frac{B}{A}\right)^2}$$

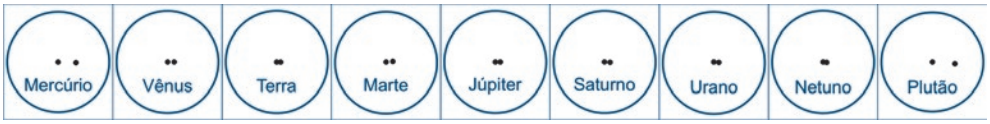
Se você fizer isso para a elipse acima encontrará que e = 0,64. Desta equação é fácil ver que o valor mínimo da excentricidade é zero (e = 0), o que se obtém quando B=A, ou seja, quando temos um círculo. O valor máximo da excentricidade é um, que se obtém justamente quando B tende a zero, ou seja, é a elipse mais achatada possível.

Logo: $0 \leq e \leq 1$

Saiba mais sobre a real forma das órbitas dos planetas.

Os astrônomos determinaram com exatidão a excentricidade das órbitas dos oito planetas do Sistema Solar, inclusive do planeta anão Plutão. Veja a tabela:

Planeta	Mercúrio	Vênus	Terra	Marte	Júpiter	Saturno	Urano	Netuno	Plutão
Excentricidade	0,2	0,007	0,02	0,09	0,05	0,06	0,05	0,009	0,25

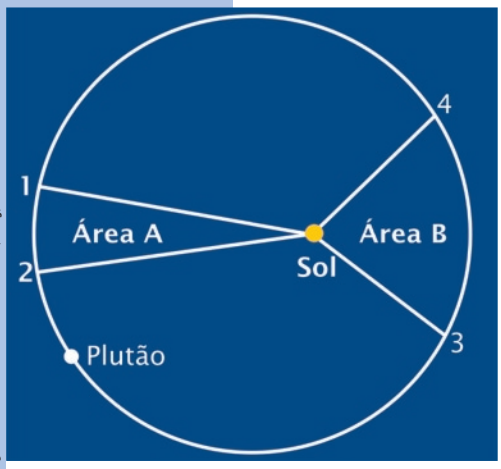


Elipses das órbitas dos oito planetas e de Plutão (planeta anão) desenhadas com o mesmo eixo maior. O ponto central é o centro da elipse e o ponto da direita é a posição de um dos focos, o qual é ocupado pelo Sol.

Na seção de atividades você encontra orientações para desenhar a órbita de qualquer planeta. Neste quadro incluímos Plutão, o planeta anão, para mostrar que ele tem a órbita mais excêntrica do que a de qualquer um dos planetas.

E o alemão foi ainda mais longe. Em 1609, ele descobriu que os planetas não giram ao redor do Sol em velocidade constante, como antes se supunha, mas aceleravam e desaceleravam. E seu ritmo guardava uma relação com sua órbita. Segundo Kepler, a linha Sol-planeta varria áreas iguais na elipse em iguais intervalos de tempo.

Para ilustrarmos a segunda lei de Kepler, vamos usar a órbita de Plutão, que até recentemente era considerado planeta e foi em 2006 rebaixado à categoria de planeta anão. Como todos os objetos, planetas ou não, que orbitam o Sol obedecem às leis de Kepler, o exemplo continua sendo válido, mesmo após a reclassificação. E o melhor de tudo é que Plutão tem uma órbita muito mais excêntrica (achatada) do que a dos planetas, o que facilita a visualização.



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 1.14. A órbita de Plutão, que é muito mais excêntrica (elíptica) do que as dos planetas do Sistema Solar.

O período de translação de Plutão tem quase 250 anos terrestres, ou seja, a Terra gira ao redor do Sol 250 vezes enquanto Plutão gira apenas uma vez. Vamos supor que entre os pontos 1 e 2 ele tenha gasto 50 anos, e entre os pontos 3 e 4 ele também tenha gasto 50 anos. Então, pela segunda lei de Kepler, a área A é igual à área B. Isso somente é possível em virtude da variação da velocidade do planeta em seu movimento de translação. Quando perto do Sol ele se move mais rapidamente do que quando mais longe.

Finalmente, em 1619, o astrônomo alemão faria novo avanço, ao determinar que a razão entre o quadrado do tempo (T) que um planeta leva para completar uma órbita e o cubo da distância média (D) do planeta ao Sol é uma constante, ou seja:

$$\frac{T^2}{D^3} = k$$

O valor de k depende das unidades usadas para o período (T) e a distância (D).

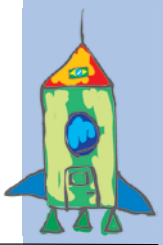
Embora possa não parecer muito impressionante, a terceira lei de Kepler foi uma das coisas que permitiram ao inglês Isaac Newton (1642-1727) o desenvolvimento da teoria da gravitação universal.

Resumindo, Kepler desenvolveu três leis:

1ª lei: os planetas giram em órbitas elípticas, com o Sol num de seus focos.

2ª lei: uma linha que ligue o planeta ao Sol cobre áreas iguais na elipse em iguais intervalos de tempo.

3ª lei: $\frac{T^2}{D^3} = k$



Essa lei de Kepler na verdade é uma solução aproximada bem eficiente das equações newtonianas, e é extremamente útil falar dela.

Como a equação é bem simples, trata-se de algo que se pode manipular em sala de aula. Além do mais, vale ressaltar que o cálculo não serve apenas a esforços educacionais. Até hoje, como forma de aproximação, ao estudar órbitas de estrelas binárias (compostas por dois astros, ambos girando em torno de um centro de gravidade comum), os astrônomos aplicam a terceira lei kepleriana!

Com seu trabalho, Kepler finalmente concluiu a busca que começou no início dos tempos de explicar os movimentos vistos no céu. Mas caberia a um contemporâneo seu, Galileu, dar um novo rumo à astronomia. Embora não tenha inventado a luneta, como alguns dizem, o italiano foi um dos grandes responsáveis pelo aperfeiçoamento desse aparelho. Foi também o primeiro a realizar observações astronômicas sérias com ele. Um novo Universo, invisível a olho nu, se revelou.

Galileu descobriu, por exemplo, ao examinar o planeta Júpiter, que este era cercado por quatro pequenos satélites que giravam em torno dele – logo nem tudo orbitava a Terra como acreditavam Aristóteles e Ptolomeu.

Com o advento do telescópio, o Sistema Solar foi ampliado com a aquisição de mais dois planetas. Urano, encontrado por Sir William Herschel (1738-1822) da Inglaterra, em 1781; e Netuno, observado pela primeira vez pelo Observatório de Berlim em 1846. Plutão, achado pelo astrônomo americano Clyde William Tombaugh (1906-1997)

*O inglês **Isaac Newton** (1642-1727) é tido como o pai da física moderna. Excêntrico e genial, ele só pode ser comparado a Albert Einstein no quesito façanhas individuais. Formulou a Lei da Gravitação Universal, criou uma teoria da luz que a via como partículas, fez grandes avanços em óptica e inventou a técnica matemática conhecida como cálculo (desenvolvida independentemente por Wilhelm Leibniz).*

*O alemão naturalizado inglês **William Herschel** (1738-1822) foi o maior astrônomo do século 18. Além da descoberta da radiação infravermelha, ele foi o descobridor de Urano, o sétimo planeta, visível apenas com o auxílio de telescópios, e realizou grandes mapeamentos de estrelas nunca antes catalogadas.*

em 1930, chegou a ser categorizado como planeta, mas foi "rebaixado" a planeta anão em 2006.

Depois de resolvido o mistério dos movimentos planetários, uma boa forma de ilustrá-los para os alunos é por meio de uma representação teatral. Veja como fazer isso na seção de atividades.

A GRANDE SÍNTESE

Embora desde Kepler os movimentos planetários tenham se tornado razoavelmente preditíveis, o principal paradigma do estudo do céu ainda não havia caído: o de que as regras que operavam lá, fossem quais fossem, não correspondiam às regras que operavam aqui no chão. De um ponto de vista filosófico, céu e Terra continuavam tão separados quanto estavam na época de Aristóteles, com sua misteriosa quintessência de um lado e os quatro elementos terrestres (fogo, ar, água e terra) de outro.

O responsável por derrubar esse ranço do pensamento aristotélico foi o britânico Isaac Newton, tecnicamente um sucessor intelectual de Kepler e Galileu, mas na prática muito mais audaz do que eles. Newton é hoje considerado por muitos como a mais poderosa mente que já surgiu na ciência, e não há como ignorar a atuação fundamental desse físico e matemático na reformulação das bases da astronomia.

Seu sucesso mais famoso, como mencionamos há pouco, é a criação da teoria da gravitação universal. E o que é mais especial a respeito dela, ao contrário do que se possa pensar, não é que ela fala de "gravitação", mas sobretudo o fato de ser universal.

Com ela, Newton estabelece uma lei da natureza que não faz distinção entre o mundo celeste e o mundo terreno. A mesma gravidade que faz a maçã cair também faz a Lua girar ao redor da Terra e a Terra girar ao redor do Sol.

É a visão de Newton que dá verdadeiro sentido aos sucessos de Kepler e Galileu; o alemão e o italiano já haviam feito grandes

coisas para explicar o movimento dos astros e a ação da gravidade terrestre, mas nenhum dos dois conseguiu costurar tudo e enxergar mais longe, percebendo que o universo lá fora e o mundo aqui embaixo são ambos partes de um todo, que obedece às mesmas leis naturais. Modesto e gracioso com seus predecessores, Newton disse que só conseguiu ver isso porque estava "sobre os ombros de gigantes".

Com esse passo precioso, Newton estabeleceu as bases para a ciência moderna. Isso, não só por demonstrar seu caráter literalmente universal (ou seja, que abarca todos os espaços observáveis pelo ser humano), mas também por criar um novo formalismo científico. Sua obra-prima, chamada *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* [Princípios Matemáticos da Filosofia Natural], é tida como um dos primeiros livros a adotar o rigor e a precisão das narrativas científicas modernas. Na função de brilhante pioneiro, Newton fez escola e lançou os alicerces de um novo modo de se fazer ciência. De quebra, resolveu todas as minúcias dos movimentos planetários.

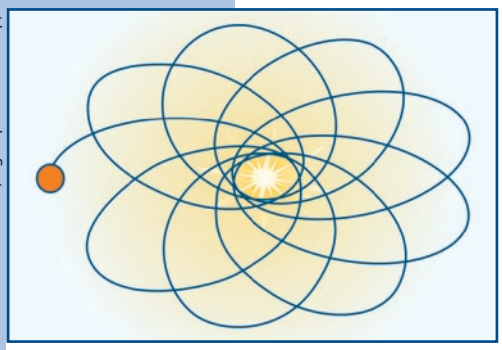
Bem, nem todas, na verdade.

O último enigma

Apenas um mistério sobre os movimentos dos planetas permanecia sem resposta – uma estranha **precessão** da órbita de Mercúrio, o astro mais próximo do Sol. Não é difícil imaginar o fenômeno. Como as órbitas planetárias são elípticas (ainda que muito próximas de um círculo perfeito), há um ponto em que o planeta atinge a distância máxima do Sol, denominado afélio, e outro em que ele está o mais próximo possível, o periélio. No caso de Mercúrio, conforme ele completa voltas e mais voltas ao redor do Sol, esses pontos de aproximação e afastamento máximos mudam de ano para ano – ocorre a dita precessão: a própria órbita gira em torno do Sol.

Ocorre que as equações da gravitação de Newton aplicadas aos planetas pareciam acertar em cheio em todos os casos, exceto

Precessão da órbita de um planeta: é o giro da própria órbita do planeta em torno da estrela central, de modo que o periélio (ponto da órbita em que o planeta está mais próximo do Sol) ocorre a cada volta numa posição ligeiramente diferente da anterior.



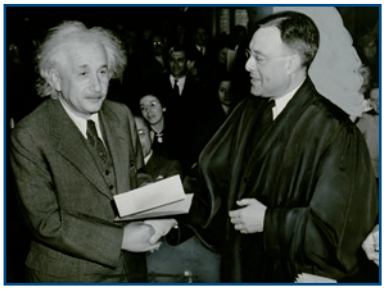
Sueli Prates (AEB/Programa AEB Escola). Adaptação de imagem publicada no sítio www.blazelabs.com/f-g-superluminal.asp/

Figura 1.15. A precessão: não só o planeta gira, mas, a órbita dele também, como no desenho acima (com elipses exageradas para deixar o efeito mais claro).

nesse. Houve quem especulasse sobre a existência de um outro planeta, ainda mais próximo do Sol do que Mercúrio, responsável pelo efeito. Mas, no final, a solução só veio mesmo quando o alemão Albert Einstein (1879-1955) apresentou sua nova teoria da gravidade, mais conhecida como a teoria da relatividade geral, em 1915.

Uma substituta à gravitação de Newton (assim como esta última superou as leis de Kepler), a gravidade einsteiniana traria algumas novidades. A mais óbvia delas era a explicação correta para o movimento de Mercúrio, dispensando a existência de um outro planeta (o próprio Einstein só se convenceu de que sua teoria estava correta depois de efetuar os cálculos e se certificar de que ela explicava a misteriosa precessão). Outra, muito mais surpreendente, era a de que, uma vez que a relatividade tratava a gravitação como uma curvatura no espaço e no tempo (vistos como uma única entidade indivisível, o espaço-tempo), o Universo passaria a ser encarado como algo dinâmico, tendo sua história regida pela ação da gravidade ao longo do tempo. Moral da história: com a relatividade geral seria possível especular de forma mais concreta sobre as origens do Universo!

***Albert Einstein** foi possivelmente o mais importante físico do século 20. Nascido na Alemanha, o cientista realizou seus trabalhos mais famosos enquanto trabalhava num escritório de patentes em Berna, na Suíça. Einstein descobriu que o espaço e o tempo não são fixos e imutáveis, como dizia Isaac Newton, mas sim flexíveis, e influenciados pela presença de matéria e energia numa dada região do espaço. Essas conclusões, incorporadas em suas duas versões da teoria da relatividade (especial e geral), mudaram as perspectivas dos estudos sobre a origem do Universo.*

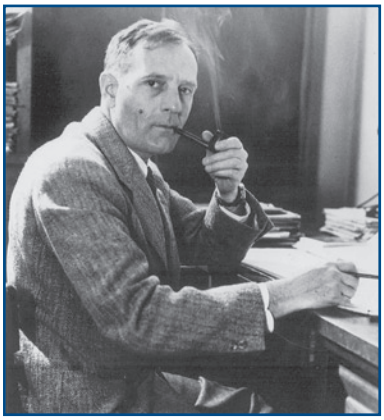


Biblioteca do Congresso dos EUA/AI Aumuller.

Figura 1.16. Albert Einstein recebe a cidadania americana, em 1940.

Einstein relutou em fazer isso. Por suas concepções religiosas e filosóficas, o alemão entendia que o Universo deveria ser eterno e estático, enquanto suas equações sugeriam que essa condição era impossível – um universo regido pela gravidade precisaria, necessariamente, estar em expansão ou em contração. Para solucionar o dilema, ele modificou suas equações, incluindo

em 1917 uma "constante cosmológica" – destinada justamente a manter o Universo estático ao longo do tempo.



Instituição Carnegie de Washington. www.wwu.edu/

Figura 1.17. Edwin Hubble.

Qual não foi sua surpresa quando o grande astrônomo americano Edwin Hubble (1889-1953) descobriu em 1929, por observações astronômicas, que as galáxias pareciam estar todas se afastando umas das outras, e quanto mais distante estava uma galáxia, mais rapidamente ela parecia se afastar (aliás, nossa representação moderna de Universo data de 1924, quando Hubble demonstrou que a Via Láctea não era a única galáxia no cosmos). Essa recessão de galáxias foi imediatamente reconhecida como o sinal de que o Universo de fato estava em processo de expansão. Após a publicação desses resultados, Einstein lamentou não ter acreditado no que suas equações lhe diziam havia mais de uma década e repudiou sua constante cosmológica, considerando-a o maior erro de sua carreira.

Com seu porte atlético (ele foi lutador de boxe), ***Edwin Hubble*** *foi o brilhante astrônomo que descobriu que as galáxias estavam todas se afastando umas das outras e que o Universo estava em expansão. Seu feito, em 1929, revolucionou o entendimento do Cosmos.*

Ora, se o Universo estava em expansão, ao rebobinarmos a fita, constataríamos sem demora que ele esteve numa condição muito mais compacta no passado. Então, se fosse possível voltar ao início dos tempos, será que o cosmos inteiro estaria condensado num único ponto? Foi essa a suposição que o padre belga Georges Lemaître (1894-1966) fez ainda em 1927, sem as observações de Hubble para apoiá-lo. Era o início da chamada teoria do *Big Bang*, que seria posteriormente mais trabalhada pelo russo-americano George Gamow (1904-1968). Além de desenvolver alguns detalhes de como se teria procedido essa "grande explosão" inicial, o físico fez uma previsão: se a teoria estivesse correta, deveria existir, emanando de todas as partes do cosmos, um "eco" desse evento primordial.

Essa radiação, hoje conhecida como radiação cósmica de fundo de microondas, foi descoberta em 1965, por acidente, por Arno Penzias (1933-) e Robert Wilson (1936-), trabalhando para os Laboratórios Bell, nos Estados Unidos. Dali em diante, a origem do Universo parecia um problema, ao menos parcialmente, resolvido – embora os detalhes e as implicações desse começo muito quente e denso ainda estejam por ser totalmente decifrados.

Após séculos e séculos de especulação e reflexão, hoje a humanidade pode se orgulhar de ter uma visão razoável de como o Universo nasceu e evoluiu. Vamos a ela.

UMA BREVE HISTÓRIA DO UNIVERSO

Big Bang *é a explosão de uma região infinitamente pequena em que toda a matéria e a energia do Universo estariam reunidas antes do início da expansão.*

A famosa teoria do *Big Bang*, acredite se quiser, nada diz sobre o *Big Bang* em si. Ela é extremamente eficiente em explicar como o Universo evoluiu desde aquele momento singular até hoje, e extrapolações dela permitem imaginar como o cosmos será daqui a muitos trilhões de anos, mas o chamado instante t=0, aquele em que tudo começou, permanece firmemente postado além de nossa compreensão.

A razão disso é que a nossa física hoje é fraturada em dois grandes mundos. De um lado, a teoria quântica, que descreve o funcionamento das coisas muito, muito pequenas, e explica com incrível precisão como funcionam três das quatro grandes forças conhecidas da natureza. São elas: a força nuclear forte, que mantém os prótons grudados dentro dos núcleos atômicos a despeito da repulsão existente entre essas partículas de carga positiva; a força nuclear fraca, que explica certos processos de decaimento radioativo; e a força eletromagnética, que está ligada, como o nome já diz, aos campos elétricos e magnéticos e às propriedades da luz, em suas diferentes variedades (que vão do rádio aos raios

gama, passando pelas microondas, pelo infravermelho, pela luz visível, pelo ultravioleta e pelos raios X).

De outro lado, existe uma força que se recusa a receber "tratamento" quântico: a gravidade. Sua melhor explicação teórica hoje vem da teoria da relatividade geral de Einstein, que interpreta os campos gravitacionais como curvaturas num espaço-tempo quadridimensional (composto pelas três dimensões espaciais mais o tempo). Sendo esta a menos intensa das quatro forças conhecidas (embora seja a que percebemos e compreendemos com maior facilidade), a gravidade se faz sentir mais intensamente quando falamos de grandes escalas. Não é à toa que a cosmologia moderna – o estudo do Universo como unidade – nasceu com a teoria einsteiniana, e os sucessos até hoje obtidos na explicação da evolução do cosmos atestam o grande sucesso das idéias do físico alemão.

Ocorre que, quando estamos falando do *Big Bang* em si, a relatividade não basta. É preciso incluir também as influências geradas pelas outras três forças da natureza, descritas pela mecânica quântica. O drama é que essas duas grandes teorias físicas – a relatividade e a teoria quântica – são incompatíveis entre si. Elas apresentam diferentes perspectivas a respeito da natureza e suas equações são impossíveis de se combinar.

A busca por uma teoria que explique o que aconteceu no momento do Big Bang

Alguns sucessos parciais no esforço de agrupar a relatividade e a teoria quântica foram obtidos pelo físico britânico Stephen Hawking (1942-), que combinou as duas teorias para explicar, por exemplo, como buracos negros emitem radiação. No entanto, a reunião final de toda a física elementar numa única teoria ainda não aconteceu, de modo que é impossível interpretar exatamente o que ocorreu no *Big Bang*. A busca por essa "teoria de tudo", que começou com o próprio Einstein, continua, mas, enquanto ela não termina, temos de aceitar que não há arcabouço teórico capaz de nos dizer o que teria acontecido no momento do *Big Bang*.

Em compensação, se passamos por cima disso sem grandes traumas, somos brindados com detalhes riquíssimos sobre a evolução do Universo.

Por exemplo, muito antes que um segundo tivesse decorrido desde o *Big Bang*, sabemos que o cosmos provavelmente sofreu um aumento radical de tamanho, numa velocidade maior que a da luz! Esse processo de crescimento descontrolado e rápido é chamado de inflação, e foi graças a ele que o Universo não voltou a entrar em colapso logo no início, implodindo sobre si mesmo. Quando a gravidade se deu conta do que estava acontecendo, era tarde demais para reunir toda a matéria e energia no ponto em que ela estava originalmente – o Universo havia nascido.

Ainda assim, naquele momento o cosmos estava muito quente, composto apenas pelas partículas mais simples. Eram os quarks – que hoje existem como componentes dos prótons e nêutrons –, os elétrons – velhos conhecidos –, e os fótons – partículas de luz. Àquela temperatura altíssima do início do Universo, eles não conseguiam combinar uns com os outros. A única coisa que ocorreu naquele momento foi aniquilação de matéria. Assim como surgiram logo de cara os quarks, surgiram também os chamados antiquarks – partículas com propriedades em tudo similares, mas com carga oposta. E para acompanhar os elétrons, surgiram os antielétrons, também chamados de pósitrons. Quando partículas idênticas de matéria e antimatéria se encontram, elas se destroem mutuamente, produzindo fótons (energia). Foi o que aconteceu naquele momento. As partículas estavam em altíssima temperatura, muito agitadas, e encontravam seu fim ao se chocar com suas antipartículas equivalentes.

A sorte – e a razão para estarmos aqui – é que, segundo a teoria mais aceita (embora ainda não se tenha comprovação dela), o Big Bang, *por algum motivo, produziu uma quantidade um pouquinho maior de partículas de matéria do que de antimatéria.*

Ao final desse processo de aniquilação mútua, havia um mar imenso de fótons e umas poucas partículas de matéria que ficaram

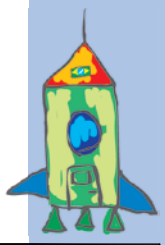
sem par – foi delas que o Universo tirou a matéria-prima para construir tudo que apareceu depois.

Note que tudo isso, a inflação e a aniquilação de matéria com antimatéria, aconteceu antes que decorresse o primeiro segundo. Muita ação e emoção para um Universo-bebê!

Até que o primeiro segundo chegou. Conforme a expansão continuava – agora não mais em ritmo inflacionário – a temperatura geral do cosmos baixava. Estava em cerca de 10 bilhões de graus Celsius (aproximadamente mil vezes a temperatura no centro do Sol) quando os quarks remanescentes conseguiram começar a se juntar em prótons e nêutrons. E, durante cerca de três minutos, o Universo iniciou a fabricação de seus principais elementos químicos. Nessa fase, os prótons e nêutrons começaram a se grudar, formando núcleos atômicos. Esse processo, conhecido como fusão nuclear, fabricou muitos núcleos de hélio (compostos por dois prótons e um ou dois nêutrons) e alguns de lítio (com três prótons). Mas três minutos depois a expansão já havia diluído suficientemente o conteúdo do cosmos para interromper o processo. Resultado: de todos os prótons recém-formados pelos quarks que sobraram da aniquilação, apenas 25% foram "reprocessados" pela fusão para formar hélio, mais uma quantidade residual de lítio. Uns 75% deles permaneceram intocados, compondo a principal matéria-prima do Universo em evolução, o hidrogênio. Trata-se do núcleo mais simples, composto por um único próton, com ou sem nêutron para acompanhá-lo.

Dali em diante, não muita coisa iria acontecer de imediato. O cosmos continuaria se esfriando, como um mar de elétrons, fótons e núcleos atômicos livres. A ação só iria voltar a se intensificar dali a 300 mil anos. A temperatura global baixou

Qualquer pessoa pode observar a radiação cósmica de fundo ao sintonizar a tevê num canal que não esteja transmitindo: daquele chiado tremeluzente captado pelo aparelho, cerca de 1% é causado pela radiação cósmica de fundo.

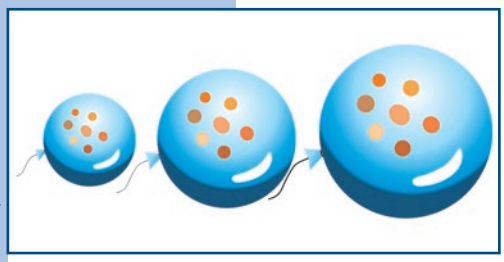


até uns 3.000 graus, e a essa altura os elétrons já não estavam suficientemente agitados para fugir dos núcleos atômicos – surgiriam os primeiros átomos estáveis, com prótons e nêutrons no núcleo e elétrons ao seu redor.

Quando isso aconteceu, foi um ato de libertação para os fótons daquele mar primordial de partículas. Os fótons deixaram de perturbar os elétrons e passaram a circular livremente pelo cosmos. Diz-se que o Universo se tornou "transparente", e esses fótons primordiais são exatamente os que são detectados na radiação cósmica de fundo, na forma de microondas.

Hoje, observações detalhadas dessas microondas nos dão uma porção de informações sobre como tudo começou. Foi principalmente a partir delas que conseguimos estimar com muita precisão em que momento do passado aconteceu o *Big Bang*. Segundo as últimas observações, feitas com o satélite Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) [Sonda Wilkinson de Anisotropia de Microondas], o Universo hoje tem cerca de 13,7 bilhões de anos. E o fato de que a radiação vem de todas as direções ajuda a esclarecer um engano muito comum – pensar que o *Big Bang* foi uma explosão no sentido convencional, de onde a matéria e a energia se espalharam por um espaço vazio previamente existente.

Não é nada disso. Na verdade, o *Big Bang* aconteceu em todo o Universo, inclusive no lugar em que você está agora. Ocorre que o lugar em que você está agora, 13,7 bilhões de anos atrás, era muito menor, e estava compactado junto com todos os outros lugares do Universo atual. A melhor forma de visualizar esse efeito é imaginar que o Universo inteiro fosse a superfície bidimensional de uma bexiga. Você pode pintar vários pontinhos nesse balão, e, ao inflá-lo, notará que os pontos se afastam uns dos outros – como as galáxias se afastam umas das outras –, mas o Universo continuará sendo o que sempre foi, a superfície da bexiga. Ocorre



Sueli Prates (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 1.18. A expansão do Universo pode ser imaginada como uma bexiga sendo inflada.

que agora ela está mais esticada, inflada, de modo que as distâncias entre os objetos são maiores.

O fato de que a radiação cósmica vem de toda parte ajuda a entender que o *Big Bang* aconteceu em toda parte!

Essas microondas originárias de quando o Universo tinha apenas 300 mil anos também nos dão pistas do que viria depois. Isso porque a radiação é muito homogênea em todas as direções, denotando hoje uma temperatura de cerca de 2,73 Kelvin (cerca de 270 graus Celsius negativos), mas não exatamente; há pequeninas variações, que indicavam uma distribuição ligeiramente heterogênea lá no começo, provavelmente, antes da era inflacionária. Foi dessas "sementes" mais densas que nasceram as primeiras galáxias. A diferença de densidade "facilitou" o trabalho da gravidade mais para frente, repartindo o Universo em regiões relativamente mais ricas em hidrogênio, hélio e lítio, e outras quase completamente vazias.

Berçário das estrelas

As galáxias começaram basicamente como nuvens gasosas, e foi nelas que nasceram as primeiras estrelas. Conforme o gás começa a se agregar por conta da gravidade, passa a se compactar. A compactação segue em ritmo crescente até que, em seu núcleo, a pressão leva à realização de fusão nuclear – nasce uma estrela.

Hoje, na Via Láctea, o Sol é apenas uma de 200 bilhões de estrelas. E a Via Láctea é apenas uma galáxia, de centenas de bilhões existentes só no Universo observável. Ela pertence a um agrupamento de galáxias conhecido como Grupo Local, do qual o maior membro é a galáxia de Andrômeda (também conhecida como M31). Essas galáxias próximas dançam ao redor de um centro de gravidade conjunto, pela força da gravidade, ao longo de bilhões de anos. Por vezes se chocam, dando origem a galáxias maiores. A Via Láctea, por exemplo, vai colidir com Andrômeda em mais ou menos 6 bilhões de anos. E colisões menores, com as chamadas galáxias-satélites, parecem ocorrer com freqüência maior.

Dando um novo salto de escala, descobrimos que o Grupo Local pertence a um conjunto ainda maior de galáxias, chamado de Aglomerado de Virgem. E, saltando mais uma vez, percebemos que o Aglomerado de Virgem está agrupado com outros aglomerados para formar o Superaglomerado de Virgem. Os astrônomos agora investigam para saber se há outro nível de organização, além dos superaglomerados.

E olhe que estamos falando apenas do Universo observável, com seus 13,7 bilhões de anos-luz de raio, a contar da Terra! (Como o Universo só tem 13,7 bilhões de anos, a luz mais distante que conseguiu chegar até nós e ser observada só pode ter vindo de uma distância de 13,7 bilhões de anos-luz; 1 ano-luz é a distância que a luz atravessa em um ano, cerca de 9,5 trilhões de quilômetros.) Além disso, segundo a teoria, deve haver muito mais que não podemos ver, meramente, porque ainda não deu tempo!

A teoria do *Big Bang*, com sua incrível sofisticação, deu uma explicação bem interessante sobre a evolução do Universo. Mas um mistério permaneceu. Se tudo que o cosmos fabricou em seu princípio foi hidrogênio, hélio e lítio, de onde vieram os elementos que nos compõem hoje, como carbono, oxigênio e ferro? A resposta tinha de estar em outro lugar, e levou algum tempo para que se descobrisse de onde veio a matéria-prima da Terra e de todas as criaturas que a habitam.

Fábrica de sonhos

A fabricação dos elementos químicos (ou nucleossíntese, como é chamada) começou com o *Big Bang*, mas o mundo seria muito sem graça se só houvesse hidrogênio, hélio e lítio. Felizmente, a arquitetura das estrelas permite a elas complementarem o serviço da "grande explosão". Foi no núcleo das primeiras estrelas que apareceram os primeiros átomos mais pesados, como carbono e oxigênio.

A fusão nuclear se dá no interior das estrelas primeiro usando o hidrogênio como combustível. Ao cabo de milhões ou bilhões de anos

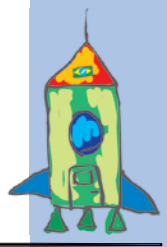
(dependendo do porte da estrela: quanto mais massa, mais rapidamente ela gasta seu combustível), o hidrogênio se torna escasso e ela passa a fundir hélio, convertendo-o em carbono; dali, o carbono será fundido em átomos diversos, como neônio, oxigênio, sódio e magnésio. Finalmente, se tiver massa suficiente, a estrela fundirá esses átomos em ferro.

A fusão é a maneira que as estrelas encontram para defender sua estabilidade. Ao fundir elementos em seu núcleo, elas produzem uma pressão de radiação na direção de dentro para fora, que compensa a pressão exercida por sua própria gravidade, de fora para dentro. Ocorre que, quando se chega no ferro, há um impasse. O processo de fundi-lo, em vez de produzir mais energia, exige que mais energia seja depositada no processo – energia que a estrela não tem de onde tirar. Ou seja, é um beco sem saída para o astro, que, sem poder combater a força da gravidade, implode.

Se sua massa for algumas vezes maior que a do Sol, ela explodirá na forma de uma supernova. É o urro final de uma estrela moribunda de grande massa. Após esgotar todas as possibilidades de fazer fusão, ela explode suas camadas exteriores. No instante inicial, ela brilha mais que a galáxia inteira em que reside. Ao longo de dias e semanas, seu brilho se torna mais intenso do que o de todas as estrelas de sua galáxia de origem. É um evento literalmente celestial.

Nesse processo violento são produzidos os elementos mais pesados que o ferro – é da supernova que vem a energia extra requerida para a produção de átomos como os de urânio e plutônio. E o espalhamento desses materiais pelo cosmos após a explosão faz com que aquela região do espaço seja semeada com todos esses elementos pesados. Com o tempo, uma nuvem de gás se condensará ali e dará origem a futuras estrelas, que terão incorporados em si os restos de suas antepassadas.

Hoje, o Sol ainda não fabrica mais que hélio em seu núcleo, mas já possui quantidade detectável de carbono e ferro, graças a supernovas que abasteceram a nuvem gasosa a partir da qual ele se formou.



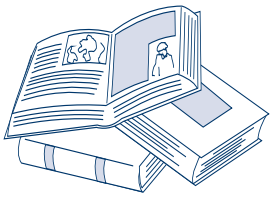
Foi graças a esse processo que o Sol, uma estrela comum

pertencente à terceira geração de astros desse tipo, formada cerca de 4,7 bilhões de anos atrás, obteve seus elementos mais pesados.

Da mesma maneira, foi essa presença marcante que permitiu o surgimento de planetas como a Terra, cujo interior é rico em ferro. A vida, como a conhecemos, é baseada em compostos complexos estruturados em cadeias de carbono. Cada átomo de carbono em nossos corpos um dia foi forjado no coração escaldante de uma estrela que nem existe mais.

Com essa assombrosa constatação, a humanidade encontrou um elo profundo com o Universo. Não fosse por todos os processos violentos que têm ocorrido cosmos afora nos últimos 13 bilhões de anos, não haveria como estarmos aqui. Fecha-se o elo entre a busca humana por origens e a própria história do Universo. Como gostava de dizer o astrônomo e divulgador de ciência americano Carl Sagan, "somos todos poeira de estrelas".

Mas, longe de ser o final, este é apenas o começo da aventura.



LEITURA COMPLEMENTAR

ATO DE FÉ OU CONQUISTA DO CONHECIMENTO?

Um episódio na vida de Joãozinho da Maré

Professor Rodolpho Caniato. Publicado no Boletim da Sociedade Astronômica Brasileira, ano 6, número 2, abril/junho de 1983, páginas 31 a 37.

O Joãozinho de nossa história é um moleque muito pobre que mora numa favela sobre palafitas espetadas em um vasto mangue. Nosso Joãozinho só vai à escola quando sabe que vai ser distribuída a merenda, uma das poucas razões que ele sente para ir à escola. Do fundo da miséria em que vive, Joãozinho pode ver bem próximo algumas das conquistas de nossa civilização em vias de desenvolvimento (para alguns). Dali de sua favela, ele pode ver bem de perto uma das grandes Universidades onde se cultiva a inteligência e se conquista o conhecimento. Naturalmente, esse conhecimento e a ciência ali cultivados nada têm a ver com o Joãozinho e outros milhares de Joãozinhos pelo Brasil afora.

Além de perambular por toda a cidade, Joãozinho, de sua favela, pode ver o aeroporto internacional do Rio de Janeiro. Isso certamente é o que mais fascina os olhos de Joãozinho. Aqueles grandes pássaros de metal sobem imponentes com um ruído de rachar os céus. Joãozinho, com seu olhar curioso, acompanha aqueles pássaros de metal até que, diminuindo, eles desapareçam no céu.

Talvez, por freqüentar pouco a escola, por gostar de observar os aviões e o mundo que o rodeia, Joãozinho seja um sobrevivente de nosso sistema educacional. Joãozinho não perdeu aquela curiosidade de todas as crianças; aquela vontade de saber os "comos" e os "porquês", especialmente em relação às coisas da

natureza; a curiosidade e o gosto de saber que se vão extinguindo, em geral, com a freqüência à escola. Não há curiosidade que agüente aquela "decoreba" sobre o corpo humano, por exemplo.

Sabendo por seus colegas que nesse dia haveria merenda, Joãozinho resolve ir à escola. Nesse dia, sua professora se dispunha a dar uma aula de ciências, coisa que Joãozinho gostava. A professora havia dito que nesse dia iria falar sobre coisas como o Sol, a Terra e seus movimentos, verão, inverno etc.

A professora começa por explicar que o verão é o tempo do calor, o inverno é o tempo do frio, a primavera é o tempo das flores e o outono é o tempo em que as folhas ficam amarelas e caem.

Em sua favela, no Rio de Janeiro, Joãozinho conhece calor e tempo de mais calor ainda, um verdadeiro sufoco, às vezes.

As flores da primavera e as folhas amarelas que caem ficam por conta de acreditar. Num clima tropical e quente como o do Rio de Janeiro, Joãozinho não viu nenhum tempo de flores. As flores por aqui existem ou não, quase que independentemente da época do ano, em enterros e casamentos, que passam pela Avenida Brasil, próxima à sua favela.

Joãozinho, observador e curioso, resolve perguntar porque acontecem ou devem acontecer tais coisas. A professora se dispõe a dar a explicação.

– Eu já disse a vocês numa aula anterior que a Terra é uma grande bola e que essa bola está rodando sobre si mesma. É sua rotação que provoca os dias e as noites. Acontece que, enquanto a Terra está girando, ela também está fazendo uma grande volta ao redor do Sol. Essa volta se faz em um ano. O caminho é uma órbita alongada chamada elipse. Além dessa curva ser, assim, alongada e achatada, o Sol não está no centro. Isso quer dizer que, em seu movimento, a Terra às vezes passa perto, às vezes passa longe do Sol. Quando passa perto do Sol é mais quente: é VERÃO. Quando passa mais longe do Sol recebe menos calor: é INVERNO.

Os olhos de Joãozinho brilhavam de curiosidades diante de um assunto novo e tão interessante.

– Professora, a senhora não disse antes que a Terra é uma bola e que está girando enquanto faz a volta ao redor do Sol?

– Sim, eu disse. – respondeu a professora com segurança.

– Mas, se a Terra é uma bola e está girando todo dia perto do Sol, não deve ser verão em toda a Terra?

– É, Joãozinho, é isso mesmo.

– Então é mesmo verão em todo lugar e inverno em todo lugar, ao mesmo tempo, professora?

– Acho que é, Joãozinho, vamos mudar de assunto.

A essa altura, a professora já não se sentia tão segura do que havia dito. A insistência, natural para o Joãozinho, já começava a provocar uma certa insegurança na professora.

– Mas, professora, – insiste o garoto – enquanto a gente está ensaiando a escola de samba, na época do Natal, a gente sente o maior calor, não é mesmo?

– É mesmo, Joãozinho.

– Então nesse tempo é verão aqui?

– É, Joãozinho.

– E o Papai Noel no meio da neve com roupas de frio e botas? A gente vê nas vitrinas até as árvores de Natal com algodão. Não é para imitar a neve? (A 40º no Rio).

– É, Joãozinho, na terra do Papai Noel faz frio.

– Então, na terra do Papai Noel, no Natal, faz frio?

– Faz, Joãozinho.

– Mas então tem frio e calor ao mesmo tempo? Quer dizer que existe verão e inverno ao mesmo tempo?

– É, Joãozinho, mas vamos mudar de assunto. Você já está atrapalhando a aula e eu tenho um programa a cumprir.

Mas Joãozinho ainda não havia sido domado pela escola. Ele ainda não havia perdido o hábito e a iniciativa de fazer perguntas e querer entender as coisas. Por isso, apesar do jeito visivelmente contrariado da professora, ele insiste.

– Professora, como é que pode ser verão e inverno ao mesmo tempo, em lugares diferentes, se a Terra, que é uma bola, deve estar perto ou longe do Sol? Uma das duas coisas não está errada?

– Como você se atreve, Joãozinho, a dizer que a sua professora está errada? Quem andou pondo essas idéias em sua cabeça?

– Ninguém, não, professora. Eu só tava pensando. Se tem verão e inverno ao mesmo tempo, então isso não pode acontecer porque a Terra tá perto ou tá longe do Sol. Não é mesmo, professora?

A professora, já irritada com a insistência atrevida do menino, assume uma postura de autoridade científica e pontifica:

– Está nos livros que a Terra descreve uma curva que se chama elipse ao redor do Sol, que este ocupa um dos focos e, portanto, ela se aproxima e se afasta do Sol. Logo, deve ser por isso que existe verão e inverno.

Sem dar conta da irritação da professora, nosso Joãozinho lembra-se de sua experiência diária e acrescenta:

– Professora, a melhor coisa que a gente tem aqui na favela é poder ver avião o dia inteiro.

– E daí, Joãozinho? O que tem a ver isso com o verão e o inverno?

– Sabe, professora, eu acho que tem. A gente sabe que um avião tá chegando perto quando ele vai ficando maior. Quando ele vai ficando pequeno, é porque ele tá ficando mais longe.

– E o que tem isso a ver com a órbita da Terra, Joãozinho?

– É que eu achei que se a Terra chegasse mais perto do Sol, a gente devia ver ele maior. Quando a Terra estivesse mais longe do Sol, ele deveria aparecer menor. Não é, professora?

– E daí, menino?

– A gente vê o Sol sempre do mesmo tamanho. Isso não quer dizer que ele tá sempre na mesma distância? Então verão e inverno não acontecem por causa da distância.

– Como você se atreve a contradizer sua professora? Quem anda pondo "minhocas" na sua cabeça? Faz quinze anos que eu sou professora. É a primeira vez que alguém quer mostrar que a professora está errada.

A essa altura, já a classe se havia tumultuado. Um grupo de outros garotos já havia percebido a lógica arrasadora do que Joãozinho dissera. Alguns continuaram indiferentes. A maioria achou mais prudente ficar do lado da "autoridade". Outros aproveitaram a confusão para aumentá-la. A professora havia perdido o controle da classe e já não conseguia reprimir a bagunça nem com ameaças de castigo e de dar "zero" para os mais rebeldes.

Em meio àquela confusão tocou o sinal para o fim da aula, salvando a professora de um caso maior. Não houve aparentemente nenhuma definição de vencedores e vencidos nesse confronto.

Indo para casa, a professora, ainda agitada e contrariada, lembrava-se do Joãozinho que lhe estragara a aula e também o dia. Além de pôr em dúvida o que ela ensinara, Joãozinho dera um mau "exemplo". Joãozinho, com seus argumentos ingênuos, mas lógicos, despertara muitos para o seu lado.

– Imagine se a moda pega... – pensa a professora. – O pior é que não me ocorreu qualquer argumento que pudesse enfrentar o questionamento do garoto.

– Mas foi assim que me ensinaram. É assim que eu também ensino – pensa a professora. – Faz tantos anos que eu dou essa aula, sobre esse assunto...

À noite, já mais calma, a professora pensa com os seus botões:

– Os argumentos do Joãozinho foram tão claros e ingênuos... Se o inverno e o verão fossem provocados pelo maior ou menor afastamento da Terra em relação ao Sol, deveria ser inverno ou verão

em toda a Terra. Eu sempre soube que enquanto é inverno em um hemisfério, é verão no outro. Então tem mesmo razão o Joãozinho. Não pode ser essa a causa do calor ou frio na Terra. Também é absolutamente claro e lógico que se a Terra se aproxima e se afasta do Sol, este deveria mudar de tamanho aparente. Deveria ser maior quando mais próximo e menor quando mais distante.

– Como eu não havia pensado nisso antes? Como posso ter "aprendido" coisas tão evidentemente erradas? Como nunca me ocorreu, sequer, alguma dúvida sobre isso? Como posso eu estar durante tantos anos "ensinando" uma coisa que eu julgava ciência, e que, de repente, pode ser totalmente demolida pelo raciocínio ingênuo de um garoto, sem nenhum outro conhecimento científico?

Remoendo essas idéias, a professora se põe a pensar em tantas outras coisas que poderiam ser tão falsas e inconsistentes como as "causas" para o verão e o inverno.

– Haverá sempre um Joãozinho para levantar dúvidas? Por que tantas outras crianças aceitaram sem resistência o que eu disse? Por que apenas o Joãozinho resistiu e não "engoliu"? No caso do verão e do inverno a inconsistência foi facilmente verificada. Se "engolimos" coisas tão evidentemente erradas, devemos estar "engolindo" coisas mais erradas, mais sérias e menos evidentes. Podemos estar tão habituados a repetir as mesmas coisas que já nem nos damos conta de que muitas delas podem ter sido simplesmente acreditadas; muitas podem ser simples "atos de fé" ou crendice que nós passamos adiante como verdades científicas ou históricas.

***

Atos de fé em nome da ciência

É evidente que não pretendemos nem podemos provar tudo aquilo que dizemos ou tudo o que nos dizem. No entanto, o episódio do Joãozinho levantara um problema sério para a professora.

Talvez a maioria dos alunos já esteja "domada" pela escola. Sem perceberem, professores podem estar fazendo exatamente

o contrário do que pensam ou desejam fazer. Talvez o papel da escola tenha muito a ver com a nossa passividade e com os problemas do nosso dia-a-dia.

Todas as crianças têm uma nata curiosidade para saber os "comos" e os "porquês" das coisas, especialmente da natureza. À medida que a escola vai ensinando, o gosto e a curiosidade vão se extinguindo, chegando, freqüentemente, à aversão.

Quantas vezes nossas escolas, não só a de Joãozinho, pensam estar tratando de Ciência por falar em coisas como átomos, órbitas, núcleos, elétrons etc. Não são palavras difíceis que conferem à nossa fala o caráter ou *status* de coisa científica. Podemos falar das coisas mais rebuscadas e, sem querer, estamos impingindo a nossos alunos "atos de fé", que nada dizem ou não são mais que uma crendice, como tantas outras. Não é à toa o que se diz da escola: um lugar onde as cabecinhas entram redondinhas e saem quase todas "quadradinhas".

ATIVIDADES

O SISTEMA SOLAR NUMA REPRESENTAÇÃO TEATRAL

João Batista Garcia Canalle (Uerj). Texto publicado no Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 11, nº 1, p. 27 – 32, 1994.

Apresentação

Quando os livros abordam o tema "Sistema Solar", geralmente, trazem uma figura esquemática do dito cujo. Essa figura quase sempre é constituída pelo Sol e pelos planetas, totalmente fora de escala – e sem nenhuma referência a esse fato. É impossível, a partir dela, determinar a diferença de diâmetro entre o Sol e os planetas ou mesmo a distância que eles guardam entre si. Em geral, há apenas uma alusão a estas diferenças – os planetas maiores são representados por círculos grandes e os menores por círculos pequenos. E o problema das distâncias nunca é abordado, nem de forma imprecisa. A figura passa a noção errada de que os planetas estão eqüidistantes uns dos outros. Quando o livro tenta ser mais claro, apresenta uma tabela com as distâncias ao Sol. Mas são números enormes, que ninguém consegue imaginar o que significam ou como se traduziriam na distribuição real dos planetas pelo Sistema Solar.

Outro problema implícito nessas figuras esquemáticas é que elas costumam representar os planetas enfileirados, um ao lado do outro. Além de não dar nenhuma idéia dos movimentos dos planetas, a figura permite que as pessoas pensem que os planetas giram ao redor do Sol desta forma, um ao lado do outro, sempre em fila. Este autor já teve a oportunidade de encontrar professores que acreditavam nisso e explicaram que pensavam assim porque "viram a figura nos livros".

Damos, a seguir, uma sugestão de como resolver esses problemas, com a participação dos alunos, em uma atividade de representação teatral.

Objetivos

1. Conhecer as distâncias médias dos planetas ao Sol.
2. Demonstrar como ocorre o movimento destes planetas, das luas e dos cometas ao redor do Sol.

Sugestão de problematização

Como os cientistas fazem para saber as distâncias dos planetas ao Sol e saber como eles giram em torno do Sol?

Materiais/infra-estrutura

- Tiras de papel com, aproximadamente, 7 cm de largura e 6 m de comprimento
- Pincel atômico ou caneta hidrocor
- Rolo de barbante
- 1 pedaço de cabo de vassoura ou outro artefato para enrolar o barbante
- Giz branco
- 1 quadra esportiva ou similar

Procedimentos

Parte 1 – As distâncias dos planetas ao Sol

Para darmos uma idéia correta das distâncias médias dos planetas ao Sol, sugerimos que sejam reduzidas as distâncias envolvidas por meio de uma escala. Por exemplo, se adotarmos a escala de 10 milhões de quilômetros para cada 1 cm de papel, teremos Mercúrio a 5,8 cm do Sol, pois sua distância média ao Sol é de 58 milhões de quilômetros; Vênus estaria a 10,8 cm do Sol, pois sua distância média é de 108 milhões de quilômetros, e assim

para os demais planetas. Veja a tabela nas "Orientações complementares".

É possível desenvolver esta atividade com os alunos da seguinte maneira:

1. Providenciar tiras de papel com, aproximadamente, 7 cm de largura e 6 m de comprimento.
2. Desenhar uma bolinha (com 1 mm ou 2 mm de diâmetro) numa das extremidades da tira para representar o Sol; a partir dessa bolinha desenhar outra a 5,8 cm para representar Mercúrio; Vênus estaria a 10,8 cm do Sol; a Terra fica a 15,0 cm do Sol; Marte fica a 22,8 cm; Júpiter, a 77,8 cm; Saturno, a 143,0 cm; Urano, a 287,0 cm; e, finalmente, Netuno, a 450,0 cm e Plutão, o planeta anão, ficaria a 590 cm do Sol. Colocar o nome do Sol e de cada planeta sobre cada bolinha.
3. Esticando a tira com as marcações, tem-se uma visão exata da distribuição das distâncias médias dos planetas ao Sol.
4. Esta é uma atividade que o aluno pode fazer em casa ou em sala de aula e, é claro, a tira fica com ele, para que possa mostrá-la aos familiares e amigos. Só mesmo fazendo a tira toda percebemos como os planetas mais afastados estão incrivelmente mais distantes do Sol, se comparados a Mercúrio, Vênus, Terra e Marte. Veja nas Figuras 1.19 e 1.20 como pode ficar:

João Batista Garcia Canalle (Uerj).

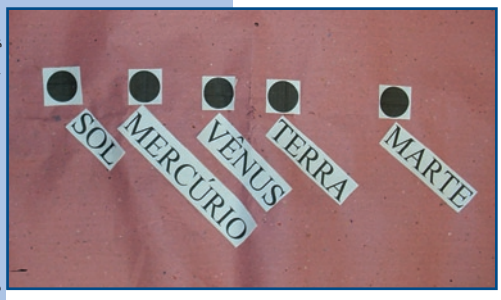


Figura 1.19. Representação em escala da distância de Mercúrio, Vênus, Terra e Marte ao Sol.

João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 1.20. Representação em escala da distância de Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno ao Sol.

Parte 2 – O movimento dos planetas ao redor do Sol

Esta parte da atividade tem o propósito de mostrar que os planetas giram ao redor do Sol (todos no mesmo sentido).

1. Sobre a tira de papel usada na parte 1, colocar um barbante esticado, e dar um nó sobre o Sol e sobre cada planeta.
2. Enrolar o barbante num lápis ou em um cabo de vassoura (de aproximadamente 10 cm de comprimento) ou outro material que desempenhe a mesma função, para não embaralhar o barbante.
3. Posicionar-se no centro de uma quadra de esportes (ou espaço similar) e segurar fixamente o nó que representa o Sol, mantendo esticado o barbante. Segurando um giz no nó que representa Mercúrio, traçar um círculo sobre a quadra.
4. Repetir esse procedimento, traçando um círculo para cada planeta.
5. Depois de traçados os nove círculos no piso da quadra, posicionar um aluno, representando o Sol, sobre o centro dos círculos (onde está o Sol). Posicionar outro aluno para andar sobre o círculo de Marte, outro sobre o círculo de Júpiter, outro para andar sobre o círculo de Saturno e idem para Urano, Netuno e Plutão. Sobre os círculos de Mercúrio, Vênus e Terra, não é possível colocar ninguém, pois eles estão próximos demais do aluno que representa o Sol.

Feito esse posicionamento inicial, sugere-se, a seguir, uma seqüência de passos para ilustrar o movimento dos planetas, seus satélites e cometas.

6. Explicar que a velocidade dos planetas diminui com o aumento da distância deles ao Sol; assim sendo, o aluno que representar Marte deverá correr sobre a órbita (círculo) de Marte, aquele que representar o movimento de Júpiter deverá correr mais devagar, quem representar Saturno apenas andará, e assim sucessivamente, de tal forma que o aluno-Plutão caminhará pé ante pé.

7. Explicar que o tempo gasto pelo planeta (aluno) para dar uma volta ao redor do Sol é chamado de período de translação e representa a duração do ano do planeta. A Terra leva 365,25 dias para fazer este movimento. Os planetas mais próximos do Sol gastam menos tempo que a Terra e aqueles que estão mais distantes gastam mais tempo que a Terra. Pode-se observar do movimento dos alunos que aqueles que estão mais próximos do Sol gastam muito menos tempo para dar uma volta completa do que aqueles que estão mais distantes.

8. Colocar os alunos em movimento, representando o Sistema Solar, e explicar as considerações apresentadas nos dois itens anteriores. Depois de algumas voltas, os alunos devem parar. Explicar que, além de os planetas girarem ao redor do Sol, eles giram ao redor de si mesmos. Pedir então para que os alunos-planeta também façam isso, ou seja, que caminhem sobre os círculos enquanto giram sobre si mesmos. Para que possam combinar os dois movimentos é preciso que transladem todos devagar, evitando choques ou quedas.

9. Explicar, também, que o tempo gasto pelo planeta para girar sobre ele mesmo é chamado de período de rotação. A Terra executa esse movimento em 24 horas. É esse movimento que dá origem ao dia e à noite. Na translação todos os planetas giram no mesmo sentido, horário, digamos, mas na rotação sete planetas giram sobre si no mesmo sentido, horário, e Vênus gira no sentido contrário. Também é preciso lembrar que o eixo de rotação dos planetas não é perpendicular ao plano de sua órbita, ao contrário do que pode se ver na quadra, onde o eixo de rotação dos alunos-planeta forma 90 graus com o chão.

10. Explicar o dia e a noite da seguinte maneira: supondo que a cabeça dos alunos que estão orbitando (circulando) o Sol seja a Terra, quando o aluno está de frente para o Sol é dia no seu rosto e noite na sua nuca, e quando ele está de costas para o Sol é dia na sua nuca e noite no seu rosto, pois ele não está vendo o Sol.

11. Além desses movimentos (translação e rotação), os planetas executam outros movimentos, mas que não são facilmente, representados com o corpo humano.

12. Também é preciso chamar a atenção para o fato de que os planos das órbitas dos planetas não são coincidentes, como ocorre na quadra, mas que na verdade estão, ligeiramente, inclinados uns em relação aos outros.

13. É importante explicar também que as órbitas dos planetas não são exatamente círculos, como desenhados no chão. Na verdade, são órbitas ligeiramente achatadas, chamadas de elipses.

O movimento das luas ao redor dos planetas

Depois dos movimentos de translação e rotação dos alunos-planeta e das explicações feitas anteriormente, pode-se incluir as luas (satélites naturais) nos movimentos do Sistema Solar. Com exceção de Mercúrio e Vênus, todos os demais planetas possuem luas que giram ao redor deles. Vejamos como representar o movimento das luas ao redor dos planetas.

14. Inicialmente, deve-se ilustrar o movimento da Lua ao redor da Terra. Escolher um aluno para representar a Terra. Como a órbita (círculo) da Terra está muito próxima ao pé do aluno que está representando o Sol, deve-se usar o círculo que representa a órbita de Urano. Os demais planetas (alunos) não participam desta atividade, apenas observam. Enquanto o aluno-Terra gira sobre si e ao redor do Sol (muito lentamente), outro aluno, que representa a Lua, deve girar ao redor da Terra, mas sempre olhando para a Terra, pois a Lua sempre mostra a mesma face para a Terra. O aluno-Terra não fica olhando para a "Lua".

Ainda existem pessoas que acreditam que o Ocidente vê uma face da Lua e que o Oriente vê só a outra face da Lua. Outras pessoas não imaginam que a Lua gira sobre si mesma. Esta atividade ajuda a esclarecer tais dúvidas.

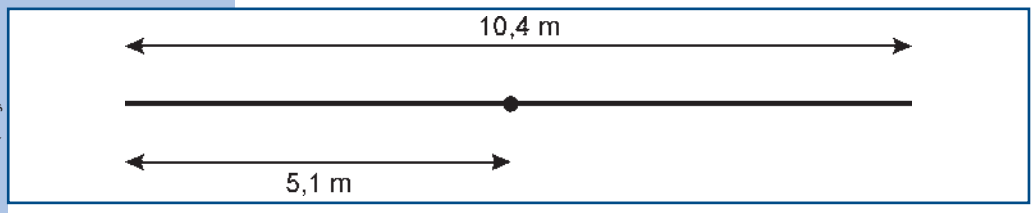
15. Marte tem duas luas, chamadas Fobos e Deimos. Vamos representá-las de modo análogo ao que foi feito para o sistema Terra-Lua. Substituir os alunos Terra e Lua por outros, sendo que um será Marte e outros dois representarão Fobos e Deimos. Marte gira ao redor do Sol e sobre si mesmo, enquanto suas luas giram ao seu redor. Também é preciso usar o círculo que representa a órbita de Urano, pelo motivo exposto no passo 9.

Júpiter é um planeta muito grande e tem muitas luas: 63 já foram descobertas. Por isso, torna-se impraticável representá-las. O mesmo ocorre com Saturno e suas 56 luas, Urano e suas 27 luas, e Netuno e suas 13 luas.

O movimento dos cometas ao redor do Sol

16. Além do Sol, dos planetas e das luas, o Sistema Solar também possui os cometas. Vejamos como é possível representá-los na quadra. Para isso, pode-se usar como exemplo o cometa Halley. Este cometa é periódico e tem órbita bastante excêntrica, isto é, sua órbita é uma elipse bem achatada.

17. Para desenhar a órbita do Halley na mesma escala usada para os planetas, corta-se um barbante com 10,4 m de comprimento e dá-se um nó a 5,1 m de uma das pontas. Veja o esquema na Figura 1.21.

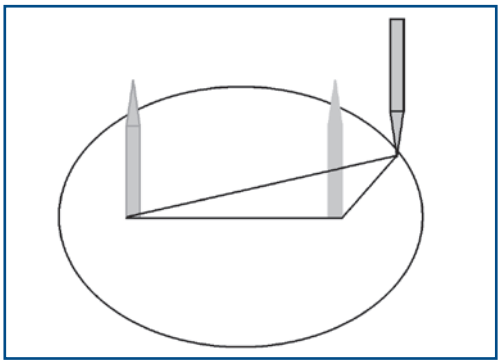


João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 1.21. Esquema da posição do nó sobre o barbante usado para a construção da elipse do cometa Halley.

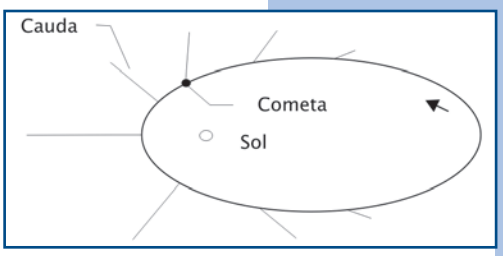
18. Em seguida, amarrar as pontas e pressionar, verticalmente, um lápis ou caneta (ou um pedaço de cabo de vassoura) contra o centro dos círculos (Sol) e outro lápis a 5,1 m do Sol (a distância entre os dois nós do barbante). Colocar

o barbante ao redor dos lápis ou canetas, esticar o barbante e riscar o chão com um giz, conforme ilustra a Figura 1.22. As posições onde estão os lápis (ou canetas) são chamadas de focos da elipse e o Sol está num desses focos, como diz a 1ª lei de Kepler.



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 1.22. Esquema do procedimento usado para desenhar a elipse.



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 1.23. Esquema da cauda do cometa.

19. Para representar, esquematicamente, a cauda do cometa, riscar o chão, conforme ilustra a Figura 1.23. Observe que a cauda é sempre radial ao Sol.

20. Para representar o movimento do cometa, pedir para um aluno representar o Sol (que fica no centro dos círculos, girando, lentamente, sobre si mesmo) e outro para representar o cometa. O aluno-cometa deve andar, lentamente, quando está longe do Sol, aumentar, gradativamente, sua velocidade enquanto se aproxima do Sol, correr quando passa próximo do Sol e diminuir gradativamente sua velocidade enquanto se afasta do Sol, pois é assim que faz o cometa. A movimentação do aluno-cometa deve ocorrer sobre a elipse desenhada no passo 19.

21. Para finalizar, colocar todos os alunos-planeta, o aluno-Sol e o aluno-cometa para se moverem, simultaneamente, ao redor do Sol. Mas, como o Sol não é uma estrela fixa, o aluno-Sol pode caminhar em direção a um dos cantos da quadra, carregando consigo todo o Sistema Solar.

Orientações complementares

Tabela com as distâncias médias dos planetas ao Sol

Planeta	Distância média ao Sol (km)	Distância ao Sol na escala adotada (cm)
Mercúrio	57.910.000	5,8
Vênus	108.200.000	10,8
Terra	149.600.000	15,0
Marte	227.940.000	22,8
Júpiter	778.330.000	77,8
Saturno	1.429.400.000	142,9
Urano	2.870.990.000	287,1
Netuno	4.504.300.000	450,4
Plutão*	5.900.000.000	590,0

*Plutão, o planeta anão está relacionado aqui por razões históricas.

Possíveis desdobramentos

Professor/a, a partir desses conhecimentos, você poderá explorar outros temas e atividades, individualmente ou em conjunto com professores de outras disciplinas, como por exemplo:

- Construir os planetas usando diferentes materiais.
- Explorar as estações do ano e eclipses.
- Com o apoio do professor de língua inglesa, realizar pesquisas no sítio da Nasa e de outras agências estrangeiras.
- Com o professor de matemática, explorar conceitos de geometria plana, cálculos de distâncias planetárias, órbitas etc.
- Com o apoio do professor de matemática, explorar a aplicação das proporções entre frações para achar as distâncias mencionadas na tabela acima.
- Com o apoio do professor de história, procurar saber mais sobre quem foi Johannes Kepler.

RELÓGIO DE SOL

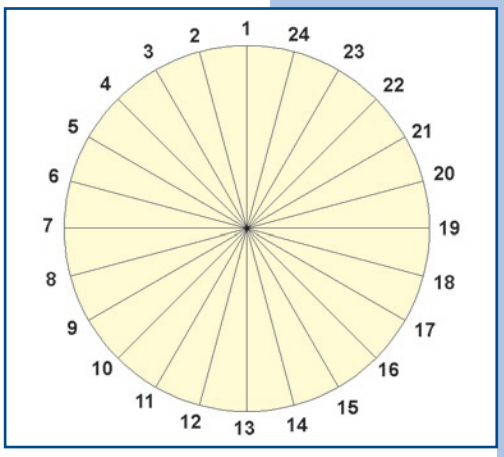
João Batista Garcia Canalle e Pâmela Marjorie Correia Coelho (Uerj).

Apresentação

Relógios solares podem ser construídos em diversos modelos. Aqui vamos construir o modelo chamado "Equatorial", no qual o disco com as horas está sempre paralelo ao plano do equador terrestre e o ponteiro fica sempre paralelo ao eixo de rotação terrestre.

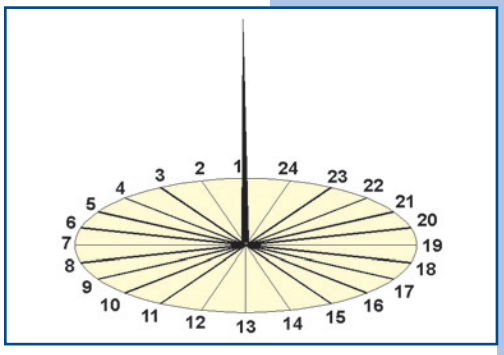
A Terra gira sobre si mesma em 24 horas enquanto gira ao redor do Sol, ou seja, este é o intervalo de tempo para o Sol passar duas vezes seguidas pelo meridiano do observador. Num círculo temos 360 graus e num dia, 24 horas, logo, temos a relação: 360/24 = 15 graus/hora. A base do relógio de Sol equatorial é justamente o conjunto de 24 "linhas horárias" (numeradas de 1 a 24 horas, separadas, entre elas, por 15 graus). O relógio de Sol equatorial é constituído por esta base (Figura 1.24A), sobre a qual coloca-se, perpendicularmente, uma haste (Figura 1.24B), que projeta sua sombra sobre as 24 linhas horárias.

Se colocarmos este relógio exatamente no pólo sul geográfico, no verão deste hemisfério (Figura 1.25), a sombra da haste se projetará, sucessivamente, sobre todas as linhas horárias durante as 24 horas do dia.



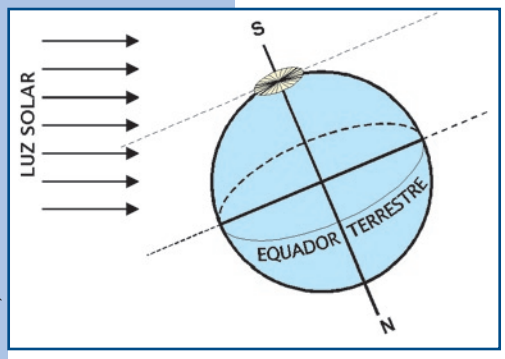
Leonardo Nemer (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 1.24A. Base do relógio equatorial com suas 24 linhas horárias, vista de cima.



Leonardo Nemer (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 1.24B. Base com o ponteiro perpendicular a ela e vista em perspectiva.

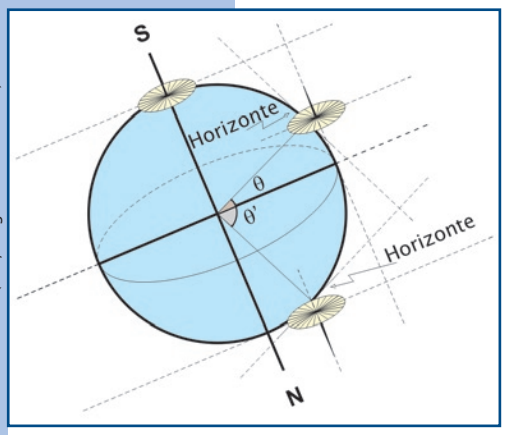


Leonardo Nemer (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 1.25. Ilustração de como posicionar o relógio de Sol equatorial sobre o pólo sul geográfico.

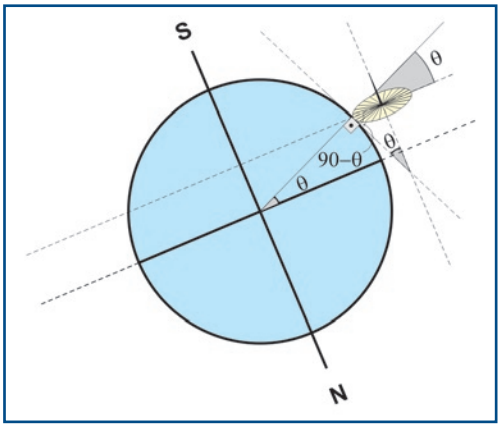
Nesse caso, o ponteiro coincide com o eixo de rotação terrestre (e, portanto, paralelo a ele) e o plano das horas é, necessariamente, paralelo ao equador terrestre.

Para posicioná-lo sobre qualquer outro lugar do globo terrestre, seu eixo deverá ser sempre paralelo ao eixo de rotação terrestre e sua base paralela ao equador terrestre, como ilustra a Figura 1.26A. Na Figura 1.26B destacamos qual é o ângulo de elevação do ponteiro do relógio em relação ao horizonte local, sempre de valor igual à latitude do lugar.



Leonardo Nemer (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 1.26A. Orientação do relógio de Sol equatorial quando posicionado num local qualquer do globo cuja latitude seja θ ou θ'.



Leonardo Nemer (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 1.26B. Visualização do ângulo de elevação do ponteiro em relação ao horizonte (chão).

Objetivo

Determinar os pontos cardeais e o movimento aparente do Sol, relacionando-o à marcação do tempo solar verdadeiro.

Sugestão de problematização

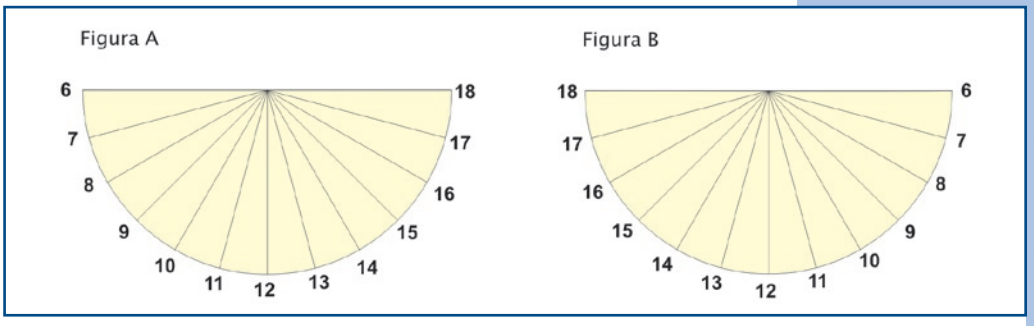
Determinar a elevação do pólo celeste visível, ângulos complementares etc.

Materiais

- 2 folhas de papelão grosso (21 cm x 30 cm)
- 1 palito de dente ou uma vareta similar
- 1 estilete (ou tesoura)
- Cola
- 1 régua
- 1 lápis
- 1 transferidor
- Papel A4

Procedimentos

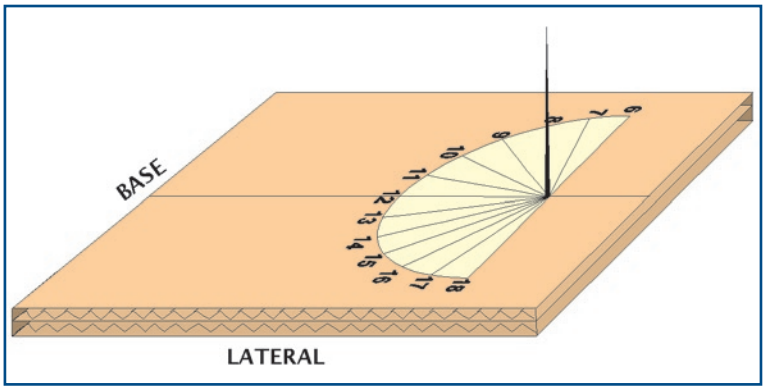
1. Como o Sol é visível apenas cerca de 12 horas por dia no intervalo de latitudes em que o Brasil está compreendido, ao invés de fazermos um círculo com 24 horas (Figura 1.24), faremos dois semicírculos, graduando um de 6 a 18 horas e outro de 18 a 6 horas, cada linha horária separada por 15 graus, conforme ilustram as Figuras 1.27A e 1.27B.



Leonardo Nemer (AEB/Programa AEB Escola).

Figuras 1.27A e B. Os mostradores do relógio de Sol equatorial quando usados na região intertropical do globo.

2. Em seguida, cola-se um em cada lado de um retângulo de papelão grosso, com dimensões de uma folha A4, ou seja, 21 cm x 30 cm, e atravessa-se um palito de dente (ou outro qualquer) perpendicularmente ao papelão, passando pela origem das linhas das horas de ambos os lados da folha de papelão, conforme mostra a Figura 1.28.

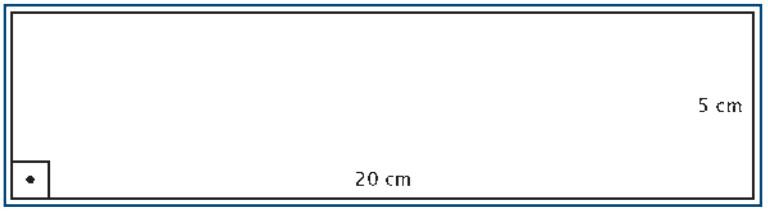


Leonardo Nemer (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 1.28. A figura mostra uma das linhas das horas (Figura 1.27A) colada no papelão; a outra está "no mesmo lugar", mas do outro lado do papelão. Metade do mostrador (palito de dente) está visível e a outra metade está no outro lado do papelão.

3. Depois, recorta-se um retângulo (use papelão grosso), por exemplo, de 20 cm de comprimento e 5 cm de largura.

4. A seguir, recorta-se deste retângulo um "bico" (triângulo) cujo ângulo seja igual à latitude (θ) do local onde o relógio de sol será usado (veja a Figura 1.29B). Coloca-se em seguida o lado do retângulo do qual se recortou o "bico" na base que contém as linhas das horas (veja a Figura 1.29C).

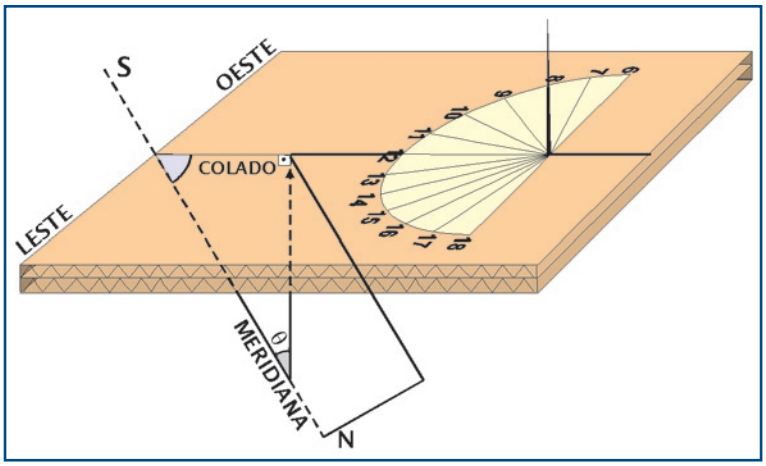


Leonardo Nemer (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 1.29A. O retângulo de papelão grosso de 5 cm x 20 cm.

Leonardo Nemer (AEB/Programa AEB Escola).

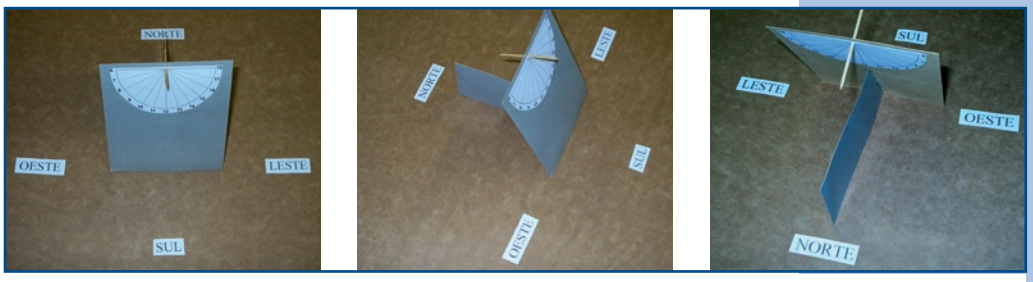
Figura 1.29B. Indicação do "bico", com ângulo θ igual ao da latitude local a ser recortado.



Leonardo Nemer (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 1.29C. Relógio de Sol com a indicação de onde colar o retângulo debaixo dele.

A seguir, mostramos três fotos do relógio de Sol já pronto e posicionado com a base (mostrador das horas) ao longo da linha leste-oeste e o trapézio (suporte) ao longo da linha norte-sul.

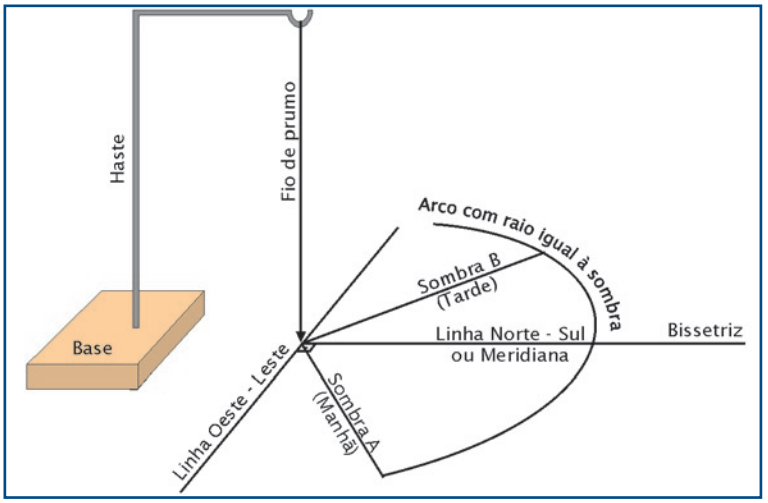


João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 1.30A. B e C. Fotos de diferentes ângulos do relógio de Sol já montado.

5. Determinação da Meridiana Local.

Antes de usar o relógio de Sol é preciso saber qual é a direção norte-sul geográfica local, ou seja, a meridiana local, a qual divide o céu do observador em duas partes iguais, pois o relógio precisa ficar, exatamente, sobre a meridiana. Para determiná-la precisamos usar a sombra de um fio de prumo. Deixe um barbante de, por exemplo, 30 cm suspenso por meio de um suporte qualquer, quase tocando num chão plano. Veja a Figura 1.31.



Leonardo Nemer (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 1.31. (Em perspectiva). Determinação da meridiana local usando duas sombras de mesmo comprimento de um mesmo fio de prumo. A meridiana coincide com a bissetriz destas duas sombras.

Se pendurar um peso (por exemplo, uma chumbada) na extremidade livre do barbante, isso ajuda a evitar que ele seja movido pelo vento. Risque sobre o chão a sombra do barbante, a partir do ponto imediatamente abaixo dele até o ponto em que ele está preso no seu suporte. Usando outro barbante, pressione uma das suas extremidades sobre o início da sombra, estique-o até o final da sombra e, neste ponto, com um giz, trace no chão um grande arco no sentido em que se moverá a sombra. O raio deste arco será do mesmo comprimento da sombra, obviamente. À tarde, observe quando a sombra do mesmo barbante tocar este arco. Quando isso ocorrer, a sombra da tarde será igual à da manhã e definirá um certo ângulo. A bissetriz deste ângulo o dividirá em duas partes iguais e estará sobre a meridiana local.

6. Os pontos cardeais.

A meridiana acima determinada é a direção Norte-Sul geográfica. Para saber onde está o ponto cardeal Sul, fique sobre esta linha de forma que seu lado esquerdo esteja voltado para o nascente (lado leste); neste caso, você estará olhando para o ponto cardeal Sul e às suas costas vai estar o ponto cardeal Norte.

A perpendicular à meridiana define a direção Leste-Oeste.

7. Usando o relógio de Sol

Coloque o triângulo retângulo (Figura 1.29A) sob o relógio sobre a meridiana, de modo que o ponteiro esteja apontado para o Sul (Figura 1.29C).

Automaticamente, o ponteiro do seu relógio de Sol estará paralelo ao eixo de rotação da Terra e a sombra dele projetará sobre um dos semi-círculos horários, a hora solar verdadeira, a qual difere um pouco (em alguns casos extremos, até uma hora) da hora cível (legal), marcada no seu relógio.

Orientações complementares

Para determinar a direção norte-sul pelo método acima, você pode usar a sombra do fio de prumo de qualquer hora da manhã e esperar pela sombra dele de mesmo comprimento à tarde. Obviamente, você pode trocar o fio de prumo por uma haste qualquer (por exemplo, um poste), desde que esteja em local ensolarado e ao redor dele a superfície seja plana. Pode ser até mesmo a sombra de uma pessoa de pé e neste caso, obviamente, à tarde a mesma pessoa deve estar, exatamente, no mesmo local em que estava de manhã para se obter a sombra dela de mesmo tamanho da sombra da manhã.

Possíveis desdobramentos

Faça os alunos observarem que o Sol não nasce obrigatoriamente na direção Leste (ele nasce do lado Leste – uma ampla e imprecisa região) e que no meio dia verdadeiro a sombra de todos os objetos é a menor do dia. Deixe o desafio: Qual é o comprimento da sombra de uma haste qualquer (fincada na vertical, num lugar plano ou inclinado) sobre a linha do trópico de Capricórnio, no dia do solstício de verão do mesmo hemisfério?

DESENHANDO ELIPSES DE QUALQUER EXCENTRICIDADE

João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Apresentação

Esta atividade é conhecida também como o método do "jardineiro" para desenhar elipses, uma maneira simples de desenhar elipses de qualquer excentricidade, usando apenas lápis, papel e outros materiais simples e baratos.

Objetivo

Desenhar as órbitas dos planetas e cometas com as corretas excentricidades.

Sugestão de problematização

A soma das distâncias de um ponto qualquer da elipse aos focos é igual a uma constante. Qual é esta constante?

Materiais

- 1 lápis
- 1 folha de papel A4
- 1 régua
- Barbante
- 2 alfinetes ("cabeçudo" ou "alfinete de costureira")
- 1 folha de papelão (opcional)

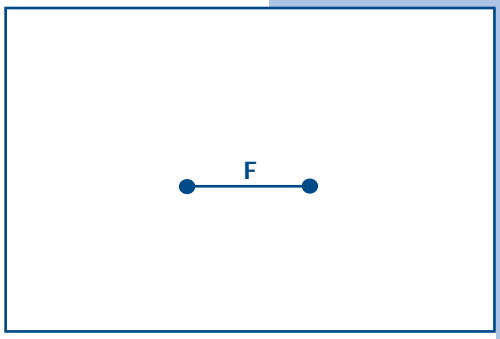
Procedimentos

1. Escolher, arbitrariamente, o comprimento do eixo maior (A) da elipse. Por exemplo, para fazer uma elipse cujo eixo maior ocupe quase toda a folha de papel A4, quando deitada, usar A = 20 cm. Mas isso é absolutamente arbitrário. Pode-se escolher o A que quiser, pois ele só determina o tamanho da elipse e não a sua forma, ou seja, ele não interfere na excentricidade.

2. Pode-se desenhar, por exemplo, a órbita de Plutão. Neste caso, deve-se utilizar a excentricidade já conhecida da órbita de Plutão, ou seja: e = 0,25.

3. Depois, determinar a distância entre os focos da elipse. Conhecida (ou dada) a excentricidade (e = 0,25) e escolhido o comprimento do eixo maior (A = 20 cm), obtém-se a distância entre os focos F pelo produto $F = e \times A$, ou seja: F = 0,25 x 20 = 5,0 cm.

4. Marcar dois pontos separados pela distância F no centro de uma folha A4 deitada, conforme mostra a Figura 1.32. Sob esta folha colocar uma folha de mesmo tamanho de papelão (de preferência grosso). Sobre cada foco fincar um alfinete.

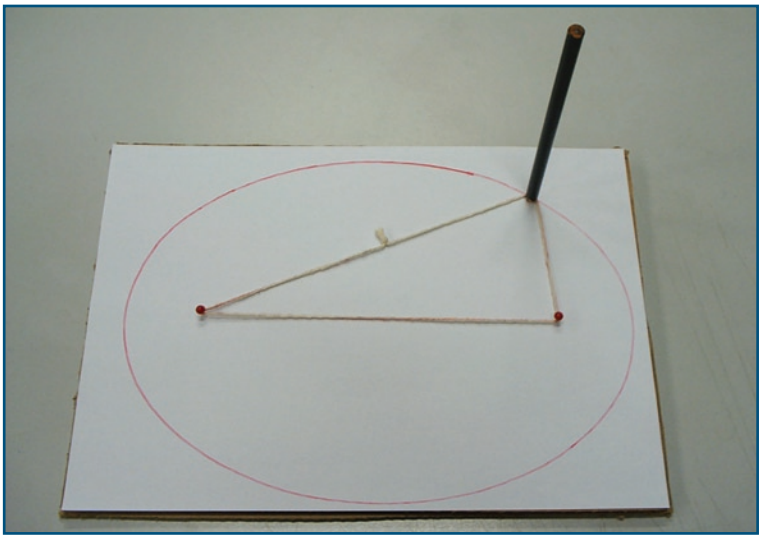


João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 1.32. Representação de uma folha de papel A4, na posição "paisagem", com os dois pontos separados pela distância interfocal, F, já calculada.

5. Cortar um pedaço de barbante com um comprimento útil dado por $L = F + A$. Em nosso caso, L = 5 + 20 = 25 cm. De fato, o barbante deverá ser uns 10 cm maior do que isso para que se possa fazer uma laçada que contenha exatos 25 cm úteis, e isso é muito importante para a precisão do desenho.

6. Em seguida, é só colocar a laçada envolvendo os dois alfinetes e com a ponta de um lápis na vertical, mantendo o fio sempre esticado, como mostra a figura a seguir, desenhar a elipse. Você acabou de reproduzir a órbita de Plutão.



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 1.33. Esquema do método do jardineiro para desenhar uma elipse.

Orientações complementares

Na ausência de "alfinetes", pode-se substituí-los simplesmente pelas pontas de dois lápis, que, neste caso, deverão ser segurados por alguém sobre a posição dos focos, para que a laçada de barbante passe ao redor deles.

Possíveis desdobramentos

Professor/a, enquanto o círculo é definido pelo conjunto de todos os pontos que estão à mesma distância de um dado ponto, chamado centro, uma elipse é definida pelo conjunto de todos os pontos cuja soma das distâncias a dois pontos dados, chamados focos, é uma constante. Escolha um ponto qualquer da elipse, meça a distância dele a cada um dos focos dela, some-as e veja que esta soma é igual (ou muito próxima) ao comprimento do eixo maior da elipse, que é uma constante. Com isso você pode conferir se o seu desenho está correto.

COMPARAÇÃO ENTRE OS TAMANHOS DOS PLANETAS E DO SOL

João Batista Garcia Canalle (Uerj). Texto publicado no Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 11, nº 2, p. 141 – 144, 1994.

Apresentação

Quando os livros didáticos abordam o tema "Sistema Solar", geralmente, apresentam uma figura esquemática do mesmo. Nesta figura o Sol e os planetas são desenhados sem escala e isto não é escrito no texto, o que permite ao aluno imaginar que o Sol e os planetas são proporcionais àquelas bolinhas (discos) lá desenhadas. Apesar de não estarem em escala, os planetas maiores são representados por bolinhas grandes e os menores por bolinhas pequenas, mas sem nenhuma preocupação com escalas. Em alguns livros o diâmetro do Sol é comparável ao de Júpiter, o que é um absurdo, claro!

Alguns livros apresentam, além das figuras esquemáticas, uma tabela com os diâmetros do Sol e dos planetas. Esta tabela também não ajuda muito, porque não se consegue imaginar as diferenças de tamanho dos planetas e do Sol apenas vendo os números dos seus diâmetros.

E como é possível dar uma visão concreta do tamanho dos planetas e do Sol aos alunos da Educação Infantil, do Ensino Fundamental e Médio sem recorrer aos números?

Sugerimos um procedimento experimental, que os alunos podem executar como tarefa extraclasse, reproduzindo (ou não) o material do professor, que permite visualizar corretamente a proporção desses astros sem fazer uso dos valores reais de seus diâmetros.

Esta atividade permite ver a gigantesca diferença de volume existente entre o Sol e os planetas. Só mesmo enchendo o balão

de látex e fazendo as bolinhas que representam os planetas é possível tomar consciência da enorme diferença que existe entre os volumes do Sol e dos planetas.

Em geral, os alunos participam, animadamente, desta atividade, que acaba se tornando uma experiência muito marcante para eles.

Objetivo

Visualizar os tamanhos dos planetas comparados ao do Sol.

Sugestão de problematização

Como calcular os tamanhos dos planetas se representarmos o Sol por uma esfera de 80 cm de diâmetro?

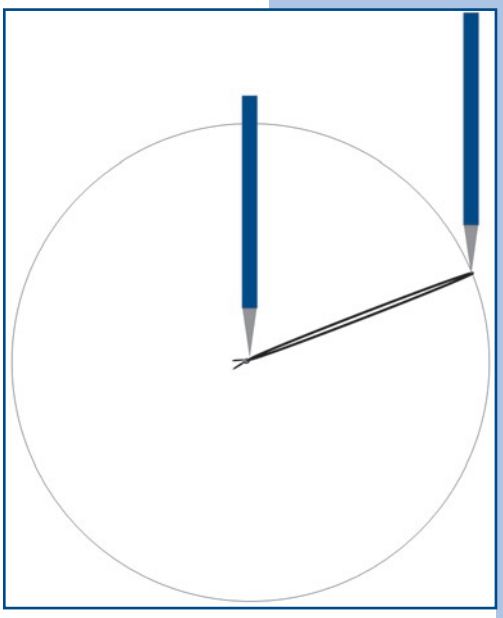
Materiais

- 1 rolo de barbante
- Folhas de papel pardo ou cartolinas coloridas
- Papel alumínio
- Jornais usados
- 1 balão de látex gigante (balão de aniversário), amarelo

Procedimentos

1. Para permitir uma visão concreta dos tamanhos dos planetas e do Sol, representaremos o Sol por uma esfera ou disco de 80,0 cm de diâmetro e, conseqüentemente, os planetas serão representados, na mesma proporção, por esferas ou discos com os seguintes diâmetros: Mercúrio (2,9 mm), Vênus (7,0 mm), Terra (7,3 mm), Marte (3,9 mm), Júpiter (82,1 mm), Saturno (69,0 mm), Urano (29,2 mm), Netuno (27,9 mm) e Plutão – o planeta anão (1,3 mm).
2. No item "Orientações complementares" estão os discos dos oito planetas e de Plutão, desenhados com os diâmetros já apresentados (Figura 1.37). Porém, o disco do Sol,

com 80 cm de diâmetro, precisa ser feito numa folha de papel pardo (papel de embrulho – Figura 1.36). Também podem ser usadas duas cartolinas amarelas, devidamente emendadas, ou até mesmo jornal. Para traçar o círculo de 80 cm de diâmetro, usamos um barbante com 82 cm de comprimento e amarramos as pontas formando uma laçada, que é usada como compasso.



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

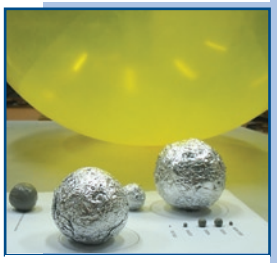
Figura 1.34. Desenho esquemático do procedimento 2.

3. Entretanto, melhor do que mostrar os discos dos planetas e do Sol é comparar os seus volumes. Para isso, é recomendável fazer os planetas, simplesmente, amassando papel alumínio. Para fazer Júpiter e Saturno é melhor amassar jornal e sobre este colocar o papel alumínio, que prende o jornal e ajuda a amassar mais para chegar ao volume correspondente aos discos desenhados na Figura 1.37.

4. Para representar o Sol, uma opção é usar um balão de latéx gigante (balão de aniversário) (amarela, de preferência), tamanho grande (aquele que, geralmente, é colocado no centro do salão de festas, com pequenos brindes dentro dele, e é estourado ao fim da festa), que é encontrado em casas de artigos para festas (ou atacadistas de materiais plásticos). Existem vários tamanhos de balões grandes, de diversos fabricantes e, portanto, de diversos preços. Depois, é só encher o balão no tamanho certo, usando um pedaço de barbante de comprimento (C) igual a 2,51 m, com as pontas amarradas, pois, C = 3,14 D, sendo D = 80 cm (o diâmetro que o balão deve ter). À medida que o balão vai enchendo (na saída de ar do aspirador de pó, por exemplo), colocar o barbante no seu equador até que o barbante

João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 1.35A. Foto do balão de látex gigante dentro da respectiva embalagem.



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 1.35B. Comparando o Sol (balão inflado) e os planetas (esferas de papel alumínio).

circunde, perfeitamente, o balão. É fundamental que o barbante seja posicionado no equador (meio) do balão durante o enchimento, pois, se ele ficar acima ou abaixo do equador do balão, ele poderá estourar, para a alegria dos alunos.

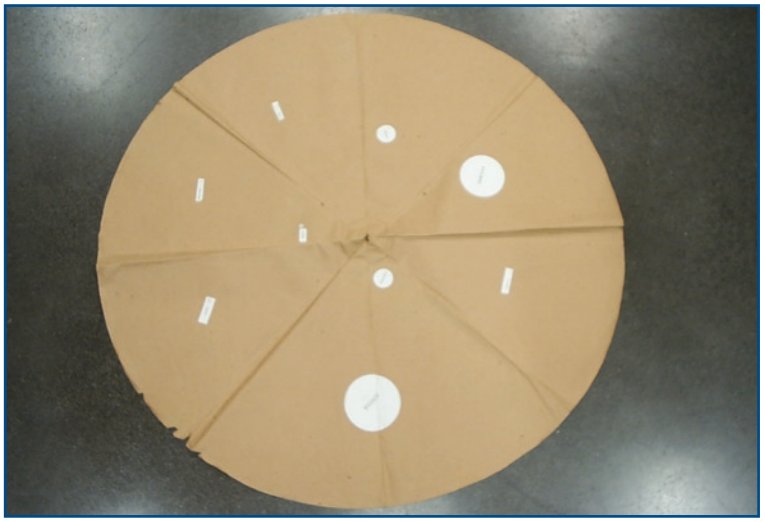
Orientações complementares

- Diâmetros equatoriais do Sol e dos planetas

Astro	Diâmetro na escala (mm)	Diâmetro equatorial (km)
Sol	800,0	1.390.000
Mercúrio	2,8	4.879,4
Vênus	7,0	12.103,6
Terra	7,3	12.756,28
Marte	3,9	6.794,4
Júpiter	82,3	142.984
Saturno	69,4	120.536
Urano	29,4	51.118
Netuno	28,9	49.492
Plutão*	1,3	2.320

*Plutão, o planeta anão, está relacionado aqui por razões históricas.

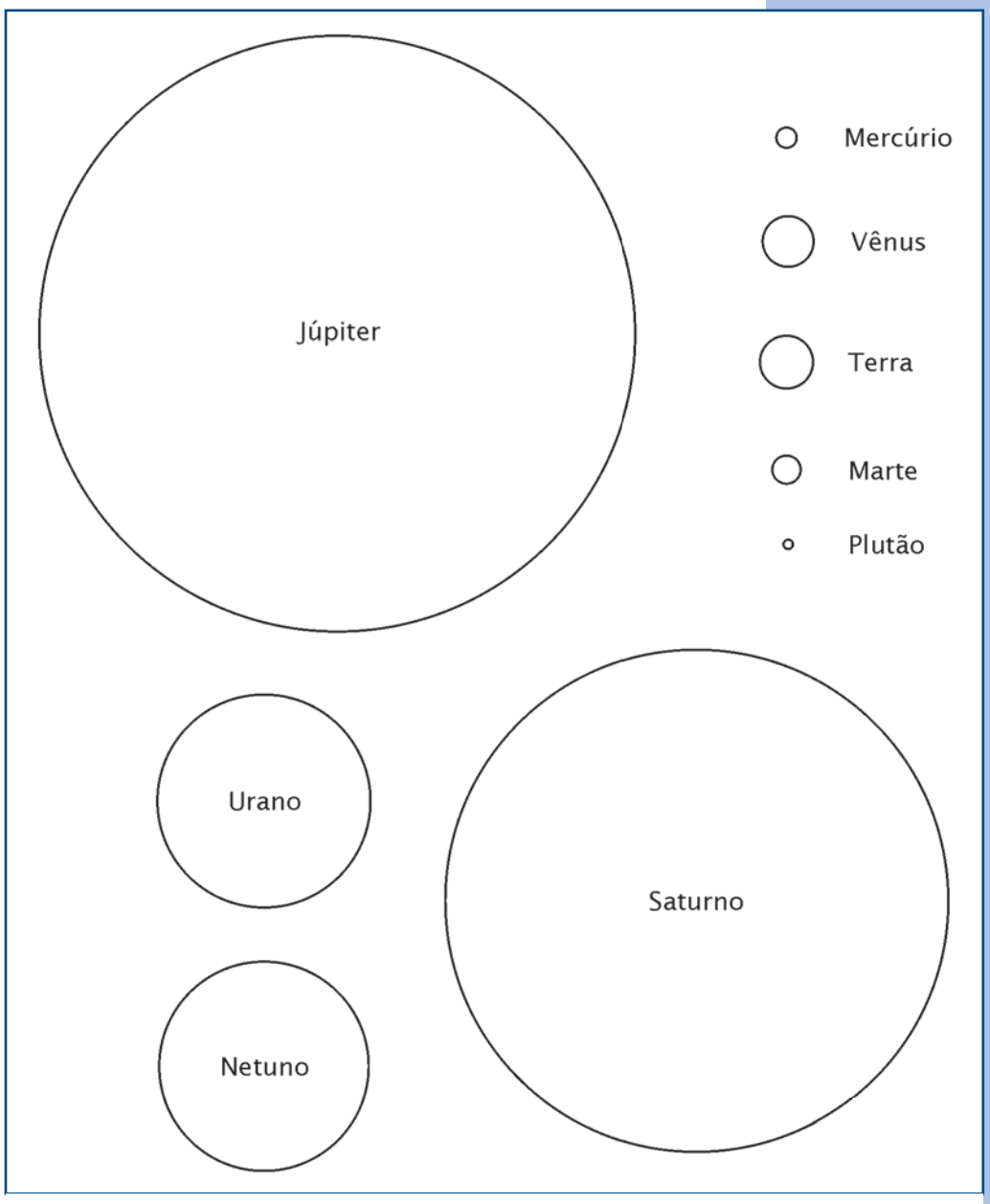
- Disco solar e planetas



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 1.36. Disco solar e planetas.

- Discos dos oito planetas e de Plutão, o planeta anão.



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 1.37. Discos dos oito planetas (e de Plutão) na escala adotada no quadro 1.

Possíveis desdobramentos

Professor/a, você pode trabalhar com seus alunos a enorme diferença de tamanho que existe entre os planetas quando comparados ao Sol.

A partir do trabalho com os discos, os alunos podem confeccionar móbiles coloridos e de tamanhos diferentes. Isso os ajudará a trabalhar proporcionalidade e medidas.

Também podem fazer uso de proporções entre frações para mostrar como chegar aos diâmetros dos planetas, uma vez escolhido o diâmetro de 80 cm para o Sol e conhecidos os diâmetros do Sol e dos planetas. Aproveite a ocasião para falar de escalas de representações.

DESAFIOS

PARTE I

João Batista Garcia Canalle (Uerj).

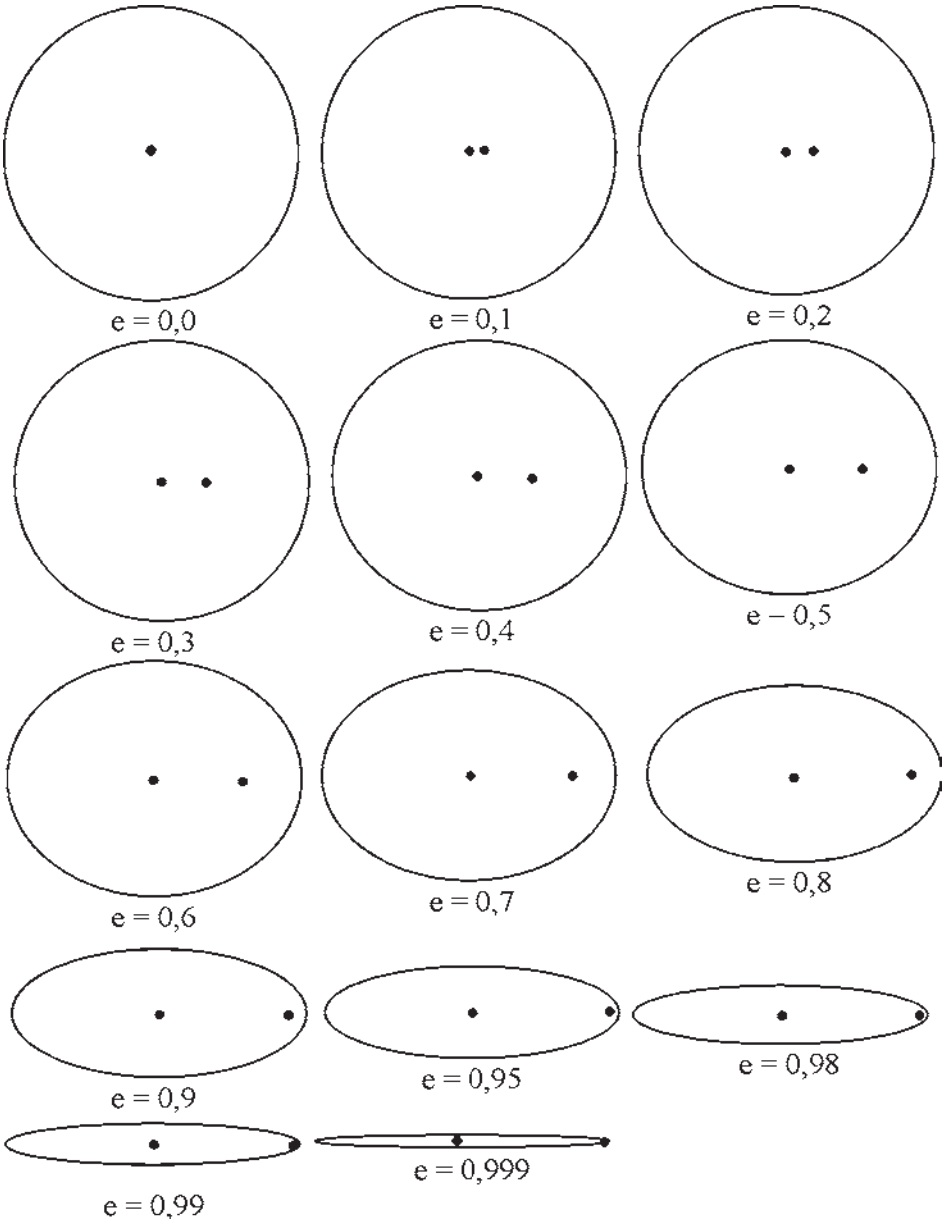
1. Kepler conhecia os períodos (em anos terrestres) e as distâncias médias dos planetas ao Sol (em unidades astronômicas (UA) = distância Terra-Sol), mas somente dos planetas entre Mercúrio e Saturno, pois os demais não eram conhecidos naquela época. Dados estes valores na tabela abaixo, calcule o valor médio de k, a constante Kepleriana:

Planeta	Período (T) (anos terrestres)	Distância (D) (UA)	k
Mercúrio	0,24	0,39	
Vênus	0,62	0,72	
Terra	1,00	1,00	
Marte	1,88	1,52	
Júpiter	11,86	5,20	
Saturno	29,46	9,54	

Resposta: k = 1,00

2. Calcule a excentricidade das elipses abaixo. Basta medir A e B (ou F) e usar qualquer uma das fórmulas:

$$e = \frac{F}{A} \text{ ou } e = \sqrt{1 - \left(\frac{B}{A}\right)^2}$$



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 1.38. Desenho em escala correta de 14 elipses com as excentricidades variando de 0 até 0,999. O ponto central dentro de cada elipse denota seu centro, e o ponto à direita um dos seus focos.

3. Muito posteriormente foram descobertos os planetas Urano, Netuno e Plutão. Sabendo-se as distâncias médias (D) deles ao Sol, em unidades astronômicas (UA), e o valor da constante média k, do desafio anterior, calcule o período (T) deles em anos terrestres.

Planeta	Período (T) (anos terrestres)	Distância (D) (UA)
Urano		19,19
Netuno		30,08
Plutão*		39,46

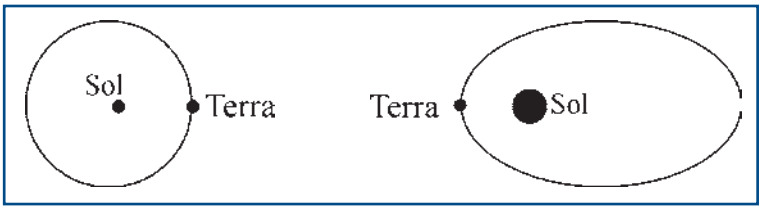
* Planeta anão.

4. Usando a mesma escala usada para desenhar os discos dos planetas na atividade "Comparação entre os tamanhos dos planetas e do Sol", desafie seus alunos a calcular e construir o disco e a esfera correspondente à nossa Lua. Para facilitar os trabalhos, vamos dar o diâmetro da Lua: 3.840 km.

PARTE II

Questões de várias edições da Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA). As respostas estão no sítio da OBA: www.oba.org.br/.

1. (VII OBA, 2004 – 5º ao 9º ano). Qual das duas figuras abaixo melhor ilustra o movimento da Terra (translação) ao redor do Sol? A da esquerda ou a da direita? Pinte a figura escolhida!



Acervo OBA.

Figura 1.39A e B.

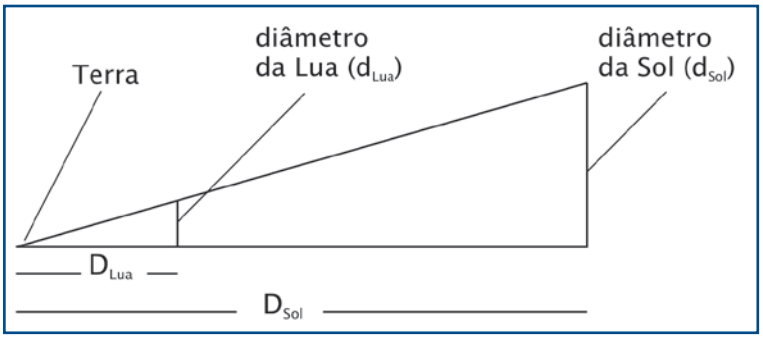
2. (VII OBA, 2004 – 5º ao 9º ano). Escreva certo ou errado na frente de cada afirmação abaixo.

	Se a Terra passasse bem pertinho do Sol e depois bem longe dele, conforme mostra a figura da direita da pergunta 1, então teríamos que ver o tamanho do Sol ora bem GRANDE e ora bem pequeno.
	Se a Terra passasse bem pertinho do Sol, conforme mostra a figura da direita da pergunta 1, então haveria um verão muito quente em toda a Terra na mesma época.
	Se a Terra passasse bem pertinho do Sol, conforme mostra a figura da direita da pergunta 1, então haveria uma ENORME maré devido ao Sol uma vez por ano.

	Se a Terra passasse bem longe do Sol, conforme mostra a figura da direita da pergunta 1, então haveria um intenso inverno em TODO o planeta Terra.
	Como a Terra gira ao redor do Sol, conforme a figura da esquerda, então, sempre vemos o Sol praticamente do mesmo tamanho e nunca há uma maré gigantesca devido ao Sol.

3. (IV OBA, 2001 – 5º ao 9º ano). O diâmetro do Sol é de, aproximadamente, dSol = 1.400.000 km e o diâmetro da Lua é de, aproximadamente, dLua = 3.500 km; contudo, os dois astros possuem o mesmo diâmetro angular no céu.

   A **distância da Terra à Lua** é de aproximadamente D_{Lua} = 400.000 km. Esperamos que você já tenha aprendido o capítulo de triângulos semelhantes na matemática. Usando as relações dos triângulos semelhantes, determine a **distância da Terra ao Sol** (D_{Sol}). Para que a sua resposta fique mais próxima do valor correto, por favor, subtraia da sua resposta 10.000.000 km, uma vez que fizemos alguns arredondamentos nos números acima.



Acervo OBA.

Figura 1.40.

SALA DE PESQUISA

Artigos/Livros

Ciências e educação

AMBROGI, A.; LISBOA, J.C.F.; SPARAPAN, E.R.F. **Química para o magistério**. São Paulo: Ed Harbra, 1995.

ARAGÃO, R.M.R.; SCHNETZLER, R.P.; CERRI, Y.N.S. **Modelos de ensino**: corpo humano, célula e relação de combustão. Ijuí: UNIJUÍ, 2000.

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico**. Rio de Janeiro: Contraponto Edições, 1996.

_____. **O novo espírito científico**. Lisboa: Edições 70, 1993.

BELTRAME, Z. V. **Geografia ativa** – investigando o ambiente do homem. São Paulo: Ed. Ática, 1996, vol. 1.

BIZZO, N. **Ciências: fácil ou difícil?** São Paulo: Ed. Ática, 1999.

BIZZO, N. et al. Graves erros de conceito em livros didáticos de ciências. **Ciência Hoje**, v.121, n. 21, p. 26 – 35, 1996.

BUTTER FIELD, H. **As origens da ciência moderna**. Lisboa: Edições 70. 1992.

CANALLE, J.B.G.; TREVISAN, R.H.; LATTARI, C.J.B. Análise do conteúdo de astronomia dos livros de geografia de 1º Grau. **Cad. Cat. Ens. Fís.**, v. 14, n. 3, p. 254 – 263, dez. 1997.

CANIATO, R. **A terra em que vivemos**. Campinas, SP: Papirus, 1984.

_____. **Com(s) ciência na educação**. Campinas, SP: Papirus, 1987.

CARVALHO, A. M. P. et al. **Ciência no ensino fundamental**: o conhecimento físico. São Paulo: Scipione, 1998.

CHALMERS, A.F. **O que é ciência afinal?** São Paulo: Ed. Brasiliense, 1995.

DIAS, F.G. **Educação ambiental** – princípios e práticas. São Paulo: Ed. Gaia, 1992.

DIRANI, A. **Férias na fazenda ecológica**. Goiânia: UFG, 1989.

FIOLHAIS, C. **Física divertida**. Brasília: UnB, 2000.

HÉRMERY, D. et. al **Uma história da energia**. Brasília: Edunb, 1993.

LIMA, M.E.C.C.; AGUIAR JR, O.G.; BRAGA, S. A. M. **Aprender Ciências**: um mundo de materiais. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 1999.

LUTFI, M. **Cotidiano e educação em química**. Ijuí: UNIJUÍ, 1988.

RONAN, A. C. **História ilustrada da ciência**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editora, vols. I; II; III; IV, 1990.

SACKS, O. **Tio Tungstênio**. São Paulo: Companhia das Letras, 2002.

TOMAZELLO, L. (org.) **A experimentação na aprendizagem de conceitos físicos sob a perspectiva histórico-social**. Piracicaba, SP: UNIMEP/CAPES/PROIN, 2000.

TREVISAN, R.H.; LATTARI, C.J.B.; CANALLE, J.B.G. Assessoria na avaliação do conteúdo de astronomia dos livros de ciências do primeiro grau. **Cad. Cat. Ens. Fís.**, v. 14, n. 1, p. 7, 1997.

Astronomia

Enciclopédia do Espaço e do Universo. São Paulo: Editora Globo, 1997, CD-ROM.

Universidade de São Paulo. Instituto Astronômico e Geofísico (USP.IAG). Anuário Astronômico. São Paulo: USP, 1986.

Revistas

Astronomy – http://astronomy.com/

Scientif American Brasil – http://www2.uol.com.br/sciam/

Ciência Hoje – http://cienciahoje.uol.com.br/

Ciência Hoje das Crianças – http://cienciahoje.uol.com.br/view/418/

Facção Científica – http://www.faccaocientifica.org/

Sítios

Instituições

Agência Espacial Brasileira – http://www.aeb.gov.br/

Observatório Nacional – http://www.on.br/

Inpe – http://www.inpe.br/

IAG/USP – http://www.astro.iag.usp.br/

Nasa – http://www.nasa.gov/

Diversos

OBA – http://www.oba.org.br/

Biblioteca Virtual de Astronomia – http://www.prossiga.br/astronomia/

Wikipedia – http://pt.wikipedia.org/wiki/Astronomia#Astronomia_em_Portugu%EAs/

Urânia Brasil – http://br.groups.yahoo.com/group/urania_br/

Filmes

2001: Uma Odisséia no Espaço

O Céu de Outubro

Impacto Profundo

Da Terra à Lua

Cosmos (Carl Sagan)

Os Eleitos

Rogério Castro (AEB/Programa AEB Escola).

capítulo 2

APENAS UM LUGAR, DE MUITOS

Salvador Nogueira

Ao contrário do que se possa pensar, o maior feito de Nicolau Copérnico não foi descrever com precisão a arquitetura básica do **Sistema Solar**. Até porque, embora seu modelo fosse mais eficiente do que o ptolomaico para prever a posição dos astros no céu, ainda deixava a desejar. E, do ponto de vista dos conhecimentos disponíveis até então, não fazia mais sentido a Terra girar em torno do **Sol** do que o contrário – somente com a **gravitação** de Isaac Newton, um século e meio depois, viria a ser possível compreender que os objetos com menos massa, necessariamente, orbitam em torno dos de maior massa. Em suma, com o que tinha à mão, o astrônomo polonês teve de fazer uma aposta: ele julgou que o sistema mais simples e esteticamente mais agradável deveria ser o verdadeiro.

Isso não só reforça a imagem que temos de Copérnico como uma figura corajosa, mas também explica toda a hesitação na publicação de suas idéias. E se, cientificamente falando, elas ainda careciam de alicerces mais sólidos, em termos filosóficos elas propiciavam uma imensa revolução no modo de pensar. Nascia o conceito da pluralidade dos mundos.

Até então, o único "mundo" era a Terra, cercado pelos astros. Mas, subitamente, ao colocar o Sol no centro do sistema planetário, Copérnico apresentou uma nova e assustadora perspectiva: a Terra não era "o" mundo, mas apenas "um" mundo – um **planeta**, dos vários que giravam ao redor do Sol. Essa percepção é o que torna a teoria do polonês um marco na história da humanidade – justificando a expressão "revolução copernicana".

A partir de então, a Terra não mais ocupava um lugar central no Universo. E não é difícil imaginar como isso poderia ser uma afronta

Sistema Solar: o Sol e todos os corpos que orbitam ao seu redor em virtude da gravidade.

Sol: estrela central do Sistema Solar. É uma estrela da seqüência principal de tamanho e luminosidade médios.

Gravitação: força de atração entre os corpos que depende de suas massas e da distância entre eles. Mantém os corpos de pequena massa em órbita ao redor dos de maior massa, assim como os planetas ao redor do Sol.

Planeta: corpo esférico em órbita ao redor do Sol ou de outra esfera e dinamicamente dominante em sua órbita. Os planetas brilham somente pela luz refletida do Sol.

Satélite: corpo em órbita ao redor de um corpo principal maior. Os satélites naturais dos planetas são chamados luas. Os satélites artificiais têm sido colocados em órbita ao redor da Terra, da Lua, e de alguns outros astros celestes.

à Igreja e à interpretação literal da narrativa bíblica. Deus, ao que parece, não teria colocado os seres produzidos "a sua imagem e semelhança" em um local especial da criação, mas simplesmente no terceiro planeta do Sistema Solar, dos seis conhecidos na época de Copérnico (Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno).

A Lua, por sua vez, estava condenada a perder seu *status* "planetário", para se tornar apenas um **satélite** natural – o único objeto a, de fato, girar ao redor da Terra. E não demoraria até que fossem descobertas luas ao redor de outros mundos, a começar por Júpiter, em 1610.

As implicações das idéias de Copérnico logo foram percebidas pelos astrônomos mais arrojados. Johannes Kepler, entusiasta assumido do heliocentrismo e homem que acabaria por decifrar o real padrão de movimento dos planetas ao redor do Sol (trocando círculos por elipses) e com isso consagrar o modelo copernicano, ensaiou já em 1593 – apenas cinqüenta anos após a publicação do *De revolutionibus orbium coelestium* [Sobre as revoluções dos orbes celestes] – produzir uma dissertação que mostraria como os fenômenos celestes, tais como descritos por Copérnico, seriam apreendidos por um observador posicionado na superfície da Lua.

A apresentação do trabalho não seria autorizada pela conservadora Universidade de Tübingen, onde Kepler estudou, mas mais tarde, o astrônomo disfarçaria a premissa como uma obra de ficção, o *Somnium* [Sonho]. Mesmo transformando a obra em ficção, o texto não escaparia à perseguição; interpretado como um relato autobiográfico em 1611, o manuscrito seria usado como prova contra a mãe de Kepler, Katherine, acusada de bruxaria. Por essa razão, a publicação do texto só viria a ocorrer depois da morte do astrônomo, em 1634.

Pode não parecer muito relevante, mas o simples fato de que Kepler, ainda em 1593, já se propunha a imaginar o que um observador veria na superfície da Lua pressupõe a possibilidade de esse observador existir! É um imenso salto na forma de perceber o contexto da Terra no resto do Universo.

Na versão finalizada do *Somnium*, Kepler ia ainda mais longe – especulava sobre a presença de criaturas inteligentes na Lua, pressupondo a existência lá de água e uma **atmosfera** adequada

Atmosfera: camada gasosa mais externa ao redor de um planeta ou satélite. Não possui fronteira exterior definida, tornando-se cada vez mais tênue até atingir o espaço.

à vida. O astrônomo alemão interpretava as grandes formações circulares na superfície da Lua – as crateras – como evidências de construção inteligente. Afinal, ele não conseguia imaginar um fenômeno natural que pudesse produzir algo tão simétrico e esteticamente agradável quanto um círculo.

Com o passar dos anos, idéias similares às de Kepler – e ainda mais audazes – começaram a ganhar força. E a síntese desse pensamento veio com Bernard le Bovier de Fontenelle (1657-1757), poeta, romancista e filósofo natural francês. Em 1686, ele escreveu *Entretiens sur la pluralité des mondes* [Diálogos sobre a pluralidade dos mundos]. "O livro tornou-se instantaneamente um *best-seller* e sensação internacional", afirma o cientista planetário americano David Grinspoon (1959-). Ele prossegue:

> Escrevendo num estilo brincalhão e extravagante, [Fontenelle] produziu o que foi descrito como o primeiro livro de ciência popular. Ainda hoje é uma boa leitura e não apenas para dar uma olhadela na mente de um pluralista e popularizador do século 17. É uma obra de enorme imaginação, escrita em prosa provocativa e espirituosa com uma pitada de vanguarda. (GRINSPOON, David. 2005, p. 47).

Diálogos sobre a pluralidade dos mundos

O texto, escrito em francês para atingir o maior público possível (em vez de em latim, linguagem usual para obras científicas na época), se divide em cinco diálogos, ocorridos durante cinco noites consecutivas, entre um filósofo e uma marquesa sem erudição, mas muito engenhosa. O filósofo está convencido de que os céus estão cheios de mundos habitados. A marquesa inicialmente duvida da visão pluralista e, conforme ela começa a se convencer, Fontenelle desfaz as dúvidas de seus leitores.

Guardadas as devidas proporções, é impressionante como o autor conseguiu antecipar muitas das discussões que até hoje são temas de acalorados debates entre os especialistas. Ao longo de suas cinco noites, Fontenelle usa os personagens para discutir a habitabilidade dos outros planetas no Sistema Solar, prever a possibilidade de vôo espacial e até mesmo descrever, vividamente, como seria o nosso planeta visto do espaço. O francês chega a ponto de incitar os leitores a imaginarem o que os habitantes de Júpiter poderiam pensar da Terra. Ele escreve:

> Mesmo que eles vissem nossa Terra em Júpiter e soubessem sobre ela de lá, ainda não teriam a menor suspeita de que poderia ser habitada. Se alguém fosse pensar nisso, só Deus sabe como Júpiter inteiro riria dele. É possível que sejamos a causa, lá, de estarem sendo processados os filósofos que tentaram insistir que nós existimos. (Fontenelle, citado por David Grinspoon, 2005).

Hoje, com todo o conhecimento adquirido sobre os planetas do Sistema Solar, a idéia de criaturas inteligentes em Júpiter pode soar um pouco ingênua. Mas é importante lembrar que esse foi o leque de possibilidades que a revolução copernicana escancarou diante da humanidade. A reflexão de que há incontáveis mundos lá fora fez o homem perceber que seu domínio, até então tido como "o mundo inteiro", não passava, nas palavras do famoso astrônomo americano Carl Sagan, de "um pálido ponto azul".

*O astrônomo americano **Carl Sagan** (1934-1996) foi provavelmente o maior divulgador da ciência da história. Falando em linguagem simples, Sagan atingiu grandes massas com seus livros e com a série de televisão "Cosmos". Além de seu trabalho com divulgação, Sagan fez muitos estudos importantes em ciência planetária, participando ativamente de muitas das missões não-tripuladas da Nasa.*

A pergunta que se segue a essa conclusão é óbvia: existe uma conexão entre o nosso mundo e os outros mundos? Qual é o tamanho do nosso isolamento? Podemos, para todos os efeitos, ignorar tudo que está lá fora e tocar nossas vidas tranqüilamente? A Terra pode ser tida como um "sistema fechado", no linguajar dos físicos?

A resposta é um retumbante não.

CONEXÃO SOL-TERRA

Comparado à idade atual do Universo, 13,7 bilhões de anos, o tempo de vida de um ser humano é ridiculamente pequeno. Mesmo quando nos limitamos à idade da Terra, com cerca de um terço do tempo de existência do cosmos, o efeito é igual – até mesmo toda a história da espécie humana torna-se minúscula. Uma metáfora usada pelo astrônomo Carl Sagan em diversas ocasiões, como nos livros "Dragões do Éden" e "Cosmos", ajuda a ilustrar o tamanho da diferença.

Imagine que a história terrestre transcorrida até hoje equivalha a um jogo de futebol, com seus dois tempos de 45 minutos. A vida na Terra surgiria relativamente rápido, lá pelo 11º minuto do primeiro tempo. A vida complexa, ou seja, composta por criaturas com mais de uma célula, demoraria bem mais – os primeiros exemplares surgiriam somente aos 34 minutos do segundo tempo. Os dinossauros apareceriam aos 40 minutos, para desaparecer aos 43. O primeiro membro do gênero *Homo*, o *Homo habilis*, entraria em cena faltando apenas três segundos para o apito final. E o homem anatomicamente moderno, *Homo sapiens*, apareceria

aos 44 minutos e 59,8 segundos, apenas um quinto de segundo antes de o árbitro encerrar a partida.

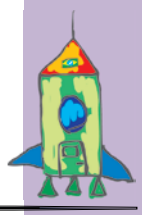
Isso, sem falar no fato de que, para usar outro chavão futebolístico, "esse é um jogo de 180 minutos" – ou seja, a Terra terá mais tempo pela frente do que teve para trás. Hoje o planeta tem entre 4,6 bilhões e 4,7 bilhões de anos de idade. A expectativa é que ele dure pelo menos mais uns 7,5 bilhões de anos – mas muitas mudanças virão por aí, no mínimo tão radicais quanto as que aconteceram no passado.

Victor Jimenez (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 2.1. A história da Terra comparada a um jogo de futebol.

Quando começamos a notar essa escala cósmica da Terra, percebemos que sua conexão com o espaço exterior e com o que acontece lá fora é muito maior do que podemos imaginar quando pensamos apenas em termos do tempo de vida de um ser humano, ou mesmo da humanidade toda. De repente, fica claro que a história terrestre foi pautada, desde o início, pela influência do Sol.

Uma definição comum usada em sala de aula para explicar a diferença entre estrelas e planetas é que as primeiras emitem luz própria, enquanto os segundos só refletem a luz que vem da estrela em torno da qual estão girando. Mas a verdadeira separação entre as estrelas e os outros objetos é que elas são capazes de fazer fusão nuclear – aquele processo em que átomos menores são fundidos uns nos outros e com isso produzem energia.



Para entender melhor essa afirmação, vale a pena mergulharmos um pouco mais no que faz do Sol o Sol. Trata-se de uma estrela, e uma estrela nasce do colapso de uma nuvem de gás e poeira. Quanto mais massa se aglomera no objeto que está se formando, maior é a gravidade que ele exerce sobre si mesmo. Resultado: ele começa a encolher. Num dado momento, o encolhimento é tão intenso que a pressão e a temperatura no núcleo sobem a um ponto em que começa a ocorrer a fusão do hidrogênio em hélio. Essa reação libera energia, que gera uma pressão de radiação de dentro para fora, equilibrando a força gravitacional. Com isso, a estrela "acende" e se estabiliza em tamanho.

Em linhas gerais, é assim que a coisa acontece. Mas as estrelas não são todas iguais – elas variam em porte, dependendo da quantidade de matéria que havia disponível no local em que elas nasceram. As de menor massa são relativamente mais frias (ainda que sejam extremamente quentes, se comparadas à temperatura ambiente na Terra) e queimam seu combustível comedidamente. As de maior massa são muito mais quentes e são umas beberronas – acabam em pouco tempo com o hidrogênio existente no núcleo para a fusão.

E com a temperatura vem a cor. Assim como o arco-íris tem suas cores distribuídas pela ordem de energia (o vermelho é o comprimento de onda de luz visível menos energético, e o violeta, o mais energético), as **estrelas** respeitam essa hierarquia. As de menor massa e, portanto, mais frias, são as vermelhas. As de maior massa são chamadas de **gigantes** azuis e são muito mais quentes. No meio, há estrelas branco-amareladas, como o nosso Sol.

Uma forma de demonstrar isso em classe é acender uma vela. Os alunos, observando a chama facilmente notarão que a porção inferior da chama, mais quente, é azul, e a porção mais fria é avermelhada. No meio, a tonalidade predominante é a amarela. Claro, é preciso lembrar aos alunos que a vela faz combustão comum, e as estrelas fazem fusão nuclear, um processo muito mais energético!

Sofisticando um pouco mais essa noção básica, os astrônomos criaram uma categorização das estrelas por tipos, baseada na cor (ou,

Estrelas gigantes e supergigantes: estrelas grandes com uma alta luminosidade. As gigantes são 10 a 1.000 vezes mais brilhantes que o Sol, com um diâmetro 10 a 100 vezes maior. As supergigantes são as maiores e mais luminosas estrelas, milhares de vezes mais brilhantes e com diâmetros superiores a 1.000 vezes o do Sol.

para ser mais específico, no espectro, ou seja, na projeção de cores gerada pela luz da estrela quando atravessa um prisma). As de maior massa e mais brilhantes, azulonas, são do tipo O, e sua temperatura superficial é superior a 20.500 graus Celsius. Depois vêm as do tipo B, seguidas pelos tipos A, F, G – a categoria do Sol –, K e M.

Confira a tabela a seguir:

Tipo de estrela	Temperatura na superfície
O	Mais de 20.500 graus Celsius
B	De 9.430 a 20.500 graus Celsius
A	De 6.930 a 9.430 graus Celsius
F	De 5.700 a 6.930 graus Celsius
G (Sol)	De 4.400 a 5.700 graus Celsius
K	De 3.040 a 4.400 graus Celsius
M	Menos de 3.040 graus Celsius

Além de todas essas versões, ainda existem as "estrelas abortadas", que não conseguiram acumular matéria suficiente para dar início ao processo de fusão nuclear. Esses objetos ganharam o nome de "anãs marrons", termo usado pela primeira vez pela astrofísica Jill Tarter (1944-) em 1975, mas que não é lá muito preciso, uma vez que esses astros são avermelhados, ainda que com um brilho muito pálido, gerado apenas pelo calor de sua compactação.

Ao que parece, todos os tipos de estrela (excetuando talvez aquelas geradas na primeira fornada do Universo, que só tinham hidrogênio e hélio à sua disposição) são capazes de abrigar planetas ao seu redor. Os planetas se formam a partir de um disco de poeira e gás que sobram durante a formação da estrela – por isso os planetas se posicionam todos mais ou menos no mesmo plano e giram todos no mesmo sentido; é um resquício do padrão do disco que os gerou.

Astrônomos já descobriram planetas ao redor de anãs marrons, anãs vermelhas (estrelas pequenas com temperatura superficial baixa e a mais fraca luminosidade de todas as estrelas da **seqüência principal**) e estrelas como o Sol. Discos de poeira (denominados

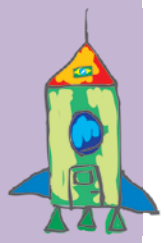
Estrela da seqüência principal: estrela localizada em uma faixa diagonal bem definida no **diagrama Hertzsprung-Russell.** Estrelas da seqüência principal produzem energia pela fusão de hidrogênio para formar hélio em seu núcleo.

Diagrama Hertzsprung-Russell: gráfico que mostra as luminosidades e os tipos espectrais (cor) das estrelas. Outros fatores, tais como as temperaturas estelares, também podem ser incluídos.

discos de acreção pelos especialistas – um disco de matéria espiralando ao redor de um objeto devido à gravidade) já foram vistos em estrelas maiores. Mas, faz uma grande diferença estar orbitando uma gigante azul, uma estrela como o Sol ou uma anã vermelha. Sobretudo se queremos encontrar vida.

Como vimos antes, a massa da estrela dita o ritmo em que ela consome seu combustível. Uma de muita massa pode esgotar todo o combustível em uns poucos milhões de anos. Usando a analogia da partida de futebol, seria como se o juiz terminasse o jogo no primeiro segundo de bola rolando – não dá tempo para que nada interessante aconteça num planeta ali localizado.

Ao longo de muitos bilhões de anos, os planetas tendem a igualar seu tempo de rotação com o de translação, mantendo a mesma face voltada para a estrela (como a Lua, hoje, faz com a Terra). Caso isso acontecesse num planeta ao redor de uma anã vermelha, ele teria um lado quente demais e outro frio demais, o que prejudicaria muito a habitabilidade de um mundo assim.



Por experiência própria, sabemos que estrelas de porte médio, como o Sol, são lugares interessantes. Com uma vida útil estimada em 10 bilhões a 12 bilhões de anos, esses astros permitem que planetas ao seu redor tenham tempo suficiente para presenciar a evolução da vida e até mesmo de vida inteligente, como é o nosso caso.

Mas ninguém garante que essa seja a melhor escolha para a vida. Estrelas anãs vermelhas são muito, muito avarentas – consomem seu hidrogênio num período que se alonga por trilhões de anos! Isso é muito mais do que a vida do Universo, que tem hoje "míseros" 13,7 bilhões de anos. Então, se tudo que é preciso para a vida se formar em algum lugar é tempo, um planeta localizado ao redor de uma estrela dessas teria oportunidade de sobra para que evoluíssem nele até formas inteligentes, mesmo que fosse preciso mil vezes mais tempo do que a Terra exigiu para chegar nesse ponto. É bem verdade que tempo demais também pode ser um problema.

Independentemente da estrela central, um dos segredos para o sucesso, ao que tudo indica, é a distância que um planeta guarda

dela. É preciso estar na chamada Zona Habitável – uma área do sistema planetário que fica a uma distância que permitiria a existência de água em estado líquido (considerada pelos cientistas como pré-requisito fundamental para a vida como a conhecemos) na superfície de um planeta ali localizado. É uma forma complicada de dizer que o planeta precisa estar a uma distância que não faça com que ele fique nem muito quente, nem muito frio.

Por isso também é importante que a **órbita** do planeta não seja muito elíptica (achatada), caso em que ele passaria ora muito perto, ora muito longe da estrela para ter um clima estável e adequado à vida. A Terra, assim como todos os planetas do Sistema Solar, tem uma órbita quase perfeitamente circular – produzindo o tipo mais "arrumadinho" possível de sistema planetário. Essas características orbitais são "configuradas", naturalmente, pelo histórico da interação gravitacional entre o Sol e os diversos objetos que estão ao redor dele.

Mesmo que o planeta esteja numa posição adequada, ainda há um probleminha. Ao longo do tempo, conforme a estrela envelhece, essa Zona Habitável se desloca, enquanto um planeta que porventura esteja nela, não. Hoje, a Terra está confortavelmente postada num lugar propício à vida. Mas o Sol está ficando a cada dia um pouquinho mais quente. O efeito é inapreciável nas escalas de tempo humanas, mas fará uma diferença brutal em mais ou menos 1 bilhão de anos. Segundo os astrônomos, a Terra será completamente inabitável no futuro. Um efeito estufa devastador aquecerá o planeta, ocasionado pelo aumento da radiação solar e acelerado pela evaporação dos oceanos, e o nosso mundo se tornará um deserto escaldante, não muito diferente do que hoje é o planeta Vênus.

Em compensação, como a Zona Habitável irá se deslocar para mais longe do Sol, Marte se tornará um lugar muito mais quente e propício à vida. O gelo em seu subsolo deve derreter e voltar a formar mares no planeta vermelho, como ele já teve no início de sua história. A atmosfera ficará mais densa do que é hoje. Marte ficará muito mais

Órbita: trajetória curva de um corpo no espaço, influenciado pela atração gravitacional de um corpo de maior massa. O plano orbital é o plano no qual a órbita é descrita. A inclinação orbital é o ângulo entre um plano orbital e um plano de referência, por exemplo, a eclíptica. O período orbital é o intervalo de tempo que um corpo leva para completar uma volta.

parecido com a Terra. Talvez a única maneira de proteger as formas de vida terrestres em 1 bilhão de anos seja transplantá-las para o ambiente marciano, onde poderão continuar florescendo!

Esse fenômeno mostra o quanto, na escala do tempo astronômico, a existência da vida depende da evolução do Sol.

Mesmo em Marte, as coisas ficarão insuportavelmente quentes em uns 5,5 bilhões de anos, quando acabar o principal combustível do Sol, o hidrogênio, e ele começar a "queimar" o hélio gerado pela fusão do hidrogênio que foi armazenado em seu interior ao longo do tempo. O astro-rei começará a inchar e seu brilho aumentará. Será o caso de se mudar para a periferia do sistema, onde residem Plutão e os cometas.

O Sol irá se transformar em uma gigante vermelha

Em uns 7 bilhões de anos, o Sol concluirá sua primeira fase de expansão, tornando-se uma estrela gigante vermelha. Seu diâmetro será 166 vezes maior que o atual, e o planeta Mercúrio, então, já terá sido engolido por ele. A **luminosidade** do astro-rei será 2.350 vezes maior que a atual. Mas, assim que houver no núcleo solar hélio suficiente para que ele se torne o combustível principal, o Sol voltará a encolher.

Com a continuidade do processo, o hélio um dia também rareia, e o Sol volta a inchar como uma gigante vermelha, com 180 vezes seu diâmetro atual e 3.000 vezes mais luminoso. O vento solar (de que falaremos logo mais) expulsa boa parte da massa da estrela (quase metade dela já se perdeu, a essa altura). Finalmente, após algumas oscilações, o Sol entra em colapso em seu interior e, com uma onda de choque (mais ou menos como o rebote de uma onda de água que bateu numa das bordas da piscina e voltou para a direção de onde veio), expulsa o que restou de seu invólucro gasoso, formando uma **nebulosa** ao seu redor.

A partir daí, a temperatura só tende a cair, e o que resta é a região central do Sol, compactada: uma bola condensada do tamanho da Terra, mas muito densa. A esse resto de estrela dá-se o nome

Luminosidade: brilho de um corpo luminoso (por exemplo, estrela), definido pela energia total que irradia em um determinado momento.

Nebulosa: nuvem de gás e poeira interestelares. As nebulosas são detectáveis como nebulosas de emissão, que brilham; as nebulosas de reflexão, que dispersam a luz estelar; e as nebulosas escuras, que obscurecem a luz de estrelas e nebulosas mais distantes.

de **anã branca**. Essa é a última fase de vida de astros do tipo solar. Ele já não vai mais gerar calor suficiente para sustentar a vida em qualquer lugar do sistema planetário.

Claro, considerando que o Sol é a principal fonte de energia para a vida (embora não a única), não é surpreendente descobrir que, a longo prazo, a evolução e morte solar produzirá efeitos grandiosos na biosfera terrestre. O que talvez pegue o leitor de surpresa é o fato de que, hoje mesmo, agora, o que acontece no Sol exerce uma influência sobre eventos na Terra.

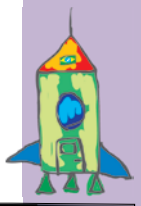
Embora de um modo geral as estrelas possam ser consideradas objetos estáveis enquanto estão queimando hidrogênio (diz-se que estão na "seqüência principal", no jargão dos astrônomos), ainda assim, há pequenas flutuações que afetam a paz e a ordem em seus sistemas planetários.

Para começo de conversa, as estrelas são campeãs na emissão de **radiação**. Não só na forma de luz e ondas eletromagnéticas (como os famosos raios ultravioletas), mas também, de partículas com massa, como prótons e elétrons livres. (Na verdade, as estrelas não são feitas de átomos neutros de hidrogênio e hélio, compostos por núcleos positivos e elétrons negativos; em razão da alta temperatura, essas partículas não conseguem se combinar, de forma que o Sol e suas colegas estrelas são uma mistura de núcleos atômicos e elétrons livres – estado da matéria a que se dá o nome de plasma.)

O vento solar é um dos maiores perigos para astronautas que façam viagens para longe da Terra. A radiação pode causar danos no DNA, molécula que armazena o código genético dentro de cada célula, provocando tumores e outras moléstias graves.

Anã branca: estrela colapsada, pequena e muito densa, que está gradualmente se resfriando.

Radiação: ondas ou partículas emitidas por uma fonte. A radiação eletromagnética é energia deslocando-se em forma de onda, incluindo raios gama, raios x, radiação ultravioleta, luz visível, radiação infravermelha, microondas e ondas de rádio. A radiação de partículas inclui partículas elementares, tais como os prótons e elétrons, no vento solar.

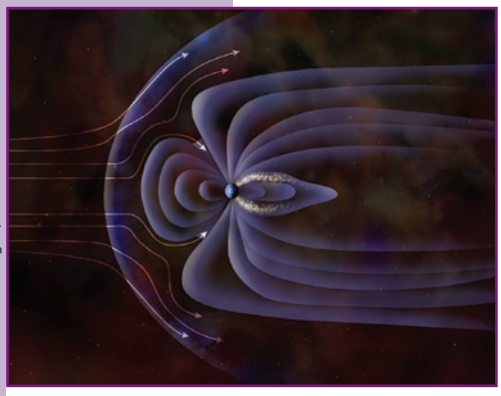


Quantidades copiosas dessa radiação de partículas são emanadas do Sol constantemente – e a esse fluxo de matéria e energia dá-se o nome de vento solar. Ele atinge todos os planetas do sistema. Na Terra, estamos razoavelmente imunes aos efeitos malévolos do Sol por duas barreiras protetoras. A mais óbvia é a atmosfera. É lá que pára a maior parte da radiação eletromagnética

mais perigosa, como os raios ultravioleta e raios X emitidos pela estrela. A segunda barreira, tão importante quanto (embora menos conhecida), é a magnetosfera.

Todo mundo sabe que a Terra tem um campo magnético. Gerado pelo movimento do magma nas profundezas do interior terrestre, ele é o responsável pelo fato de as bússolas apontarem todas para o Norte Magnético atualmente. De tempos em tempos, o pólo magnético terrestre parece flutuar e trocar de polarização, de modo que a bússola passe a apontar para o pólo magnético Sul; na verdade, os cientistas desconfiam que estamos prestes a presenciar mais uma dessas inversões.

Um efeito menos conhecido desse campo magnético terrestre é a deflexão das partículas trazidas pelo vento solar, de forma que não atinjam diretamente o planeta. Elas acabam sendo desviadas em sua maior parte para o espaço e em pequena parte para os pólos, e é por isso que nas altas latitudes existem as auroras boreais (no Hemisfério Norte) e austrais (no Sul) – fenômenos luminosos no céu que refletem justamente a interação entre as partículas vindas do Sol e a atmosfera.



Nasa. www.nasa.gov/

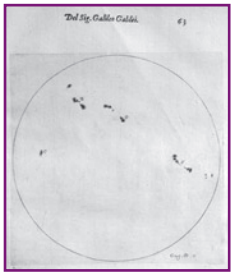
Figura 2.2. A imagem representa a magnetosfera terrestre. As setas representam o vento solar, e as linhas de campo mostram como a Terra se comporta como um ímã, repelindo convenientemente a radiação do Sol e absorvendo uma pequena parte na região dos pólos.

Astronautas que viajam em órbitas baixas ao redor da Terra recebem proteção parcial, pois, embora estejam fora da proteção da atmosfera, ainda estão sob os efeitos da magnetosfera terrestre.

Mas o vento solar não é constante – ele varia de acordo com a intensidade da atividade solar, que parece sofrer variações sazonais. Sim, o Sol tem clima! Sua dinâmica aparentemente é regida por um ciclo de cerca de 11 anos terrestres, e os cientistas não sabem exatamente o que determina esse processo. Ainda assim, está claro que num período de 5,5 anos o Sol alterna

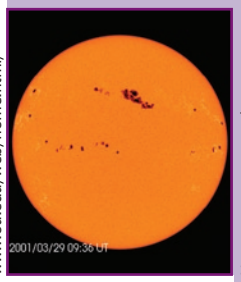
gradualmente entre um pico de calmaria e um pico de intensa atividade, para depois voltar ao pico de calmaria 5,5 anos depois, concluindo o ciclo de 11 anos.

Uma das principais evidências dessa dinâmica é a freqüência de aparição das manchas solares. Documentadas pela primeira vez por Galileu Galilei, no século 17, essas manchas são produzidas por variações no campo magnético da estrela, embora o mecanismo exato ainda seja fonte de discussão entre os estudiosos.



Universidade de Oklahoma. www.ou.edu/web/home.html/

Figura 2.3. O desenho de Galileu registra manchas solares, em 1613.

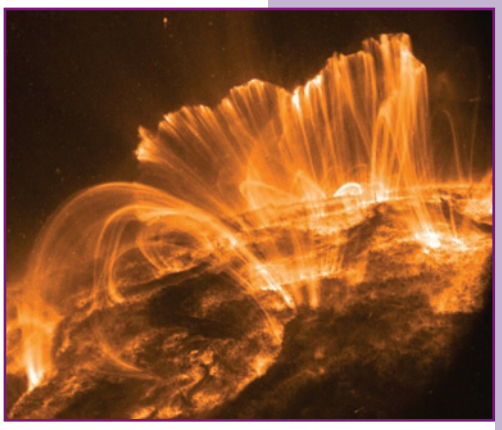


Nasa. www.nasa.gov/

Figura 2.4. Manchas solares observadas pelo satélite SOHO.

O ponto culminante de uma mancha normalmente é uma erupção solar – quando o material da estrela é violentamente ejetado e varre o Sistema Solar. Embora a atmosfera e a magnetosfera sejam suficientes para proteger a vida na Terra, objetos que estão fora desse escudo de proteção sofrem danos, às vezes irreparáveis. As erupções solares costumam interromper o funcionamento de satélites de comunicação e algumas vezes, nos casos mais extremos, provocam quedas de energia nas redes elétricas em terra – exemplo claro de como há conexões entre a dinâmica solar e o dia-a-dia no terceiro planeta ao redor do Sol.

Obviamente, a maior parte desses fenômenos nós só pudemos desvendar por termos enviado veículos, tripulados e não-tripulados, ao espaço.



Nasa. www.nasa.gov/

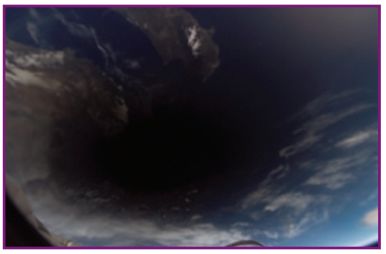
Figura 2.5. Erupções solares, em imagem obtida pelo satélite TRACE.

CONEXÃO TERRA-LUA

É por uma dessas coincidências incríveis que o Sol e a Lua parecem, no céu, ter mais ou menos o mesmo tamanho. Além

Eclipse: obscurecimento total ou parcial de um corpo celeste por outro. No eclipse solar, a Lua passa entre o Sol e a Terra escondendo parcial ou totalmente o Sol para uma pequena área da Terra. No eclipse lunar, a Terra está entre a Lua e o Sol, e a Lua passa através da sombra da Terra.

de propiciar fenômenos fascinantes, como os **eclipses**, esses dois objetos ajudaram a dar pistas sobre as dimensões do Sistema Solar. São os dois únicos corpos celestes a se apresentarem, a olho nu, como discos, em vez de pontos luminosos. Além disso, o fato de que a Lua pode passar à frente do Sol (produzindo um eclipse solar) indica claramente que a primeira está mais próxima da Terra que o segundo. E, se ambos parecem ter o mesmo tamanho, em realidade o objeto mais distante teria de ser muito maior que o mais próximo.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 2.6. Um eclipse solar visto do espaço. O que se viu, nesta imagem obtida na Estação Espacial Internacional, foi a sombra projetada da Lua sobre a superfície terrestre.

O primeiro astrônomo de que se tem notícia que ousou trabalhar esses fatos simples de forma a produzir algum resultado matemático foi o grego Aristarco de Samos (310 a.C.-230 a.C.). Ele estimou que o Sol deveria estar 19 vezes mais distante da Terra que a Lua e, portanto, ter diâmetro 19 vezes maior que o dela. O erro foi grande. Na verdade, hoje sabe-se, o Sol é 400 vezes maior em diâmetro e mais distante que a Lua. Mas as idéias de Aristarco pareciam muito à frente de seu tempo (é bom dizer "pareciam", porque quase nada restou de seus escritos originais – o que conhecemos vem de segunda mão, descrito por Aristóteles). Basta notar que ele foi o primeiro astrônomo a defender um sistema heliocêntrico, ou seja, com o Sol no centro e os planetas ao redor. Ao que tudo indica, Copérnico tinha conhecimento dos trabalhos de Aristarco quando retomou a idéia, quase 20 séculos depois.

*O grego **Aristarco de Samos** foi o primeiro, até onde se sabe, a defender a hipótese heliocêntrica, ou seja, a de que os planetas, e a Terra entre eles, giram em torno do Sol. No entanto, pouco se sabe sobre seus argumentos, uma vez que a obra original foi perdida e só a conhecemos por referências posteriores.*

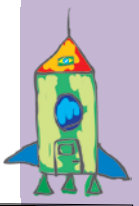
De toda forma, essa noção de que a Lua e o Sol no céu têm aparências de porte similar serve como bela alegoria – de fato, a Lua, assim como o Sol, exerce influência poderosa na evolução do planeta Terra.

A interação Sol-Terra, como vimos anteriormente, tem duas naturezas distintas, que trabalham em cooperação. De um lado, a gravidade exercida entre os dois corpos faz com que a Terra gire

ao redor do Sol; de outro, a radiação solar incide sobre o planeta para fornecer energia e um ambiente adequado ao surgimento da vida. As duas coisas, é claro, trabalham em conjunto: a interação gravitacional mantém o planeta numa órbita dentro da atual Zona Habitável, onde a radiação solar vem na medida certa para não fritar nem congelar o que quer que esteja por ali.

Já com a Lua, a única interação de fato relevante é a gravitacional. A luminosidade que parte da superfície lunar é uma mera reflexão da luz solar, e sua intensidade é praticamente irrelevante em termos da influência que poderia exercer sobre o planeta. O que conta mesmo é a gravitação.

Até onde sabemos, o efeito de maré nos oceanos da Terra é mais um fenômeno interessante do que relevante, em termos das condições que nosso planeta apresenta. Em outros mundos, no entanto, as marés parecem ter importância muito maior.



O efeito mais notável da Lua sobre a Terra (e o Sol também tem participação nisso) ocorre nos oceanos. O satélite natural terrestre exerce uma força de atração sobre o planeta, mas que é insuficiente para mobilizar massas de terra de uma maneira perceptível. As massas d'água, no entanto, mais flexíveis, são mais claramente manipuladas desse modo. Assim, enquanto a Terra gira sobre seu próprio eixo, e a Lua atravessa o firmamento por conta disso, os mares são atraídos para lá, depois para cá. O efeito de maré, tão conhecido, é produzido pela atração gravitacional da Lua e, em menor medida, do Sol.

Ocorre que esse é apenas o efeito mais óbvio e de prazo mais curto induzido pela Lua na Terra. Há outros, muito mais relevantes para a história do planeta, que não são perceptíveis no tempo de vida humano, mas, mesmo assim, fizeram uma diferença brutal ao longo do tempo.

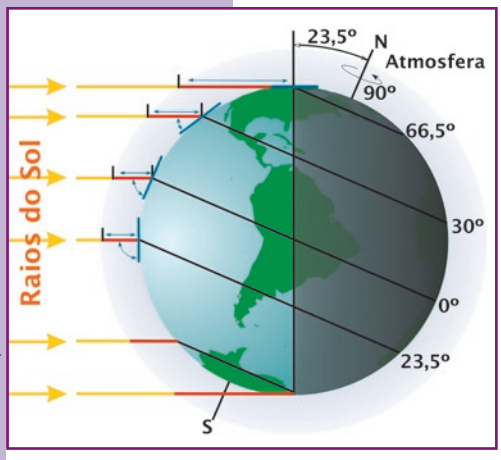
Basta dizer que, no início de sua história, a Terra girava muito depressa em torno de seu próprio eixo – um **dia** durava apenas cerca de cinco horas! Foi graças à interação gravitacional com a Lua que a velocidade de rotação terrestre foi aos poucos

Dia: um dia sideral é o tempo decorrido para uma estrela retornar à mesma posição no céu. Um dia solar é o intervalo entre um nascer astronômico do Sol e o seguinte.

diminuindo, até que o período de rotação chegasse às 23 horas e 56 minutos atuais. E esse é um processo que continua em andamento. A cada século, o período de rotação da Terra aumenta em 1,5 milésimo de segundo. Ao roubar energia de movimento do planeta (reduzindo sua velocidade de rotação), a Lua ganha energia de movimento para si, aumentando sua órbita. A distância Terra-Lua é hoje cerca de 384 mil quilômetros. Mas o satélite natural se afasta de nós em média 3,8 centímetros por ano. Isso tudo significa que em um futuro distante o dia da Terra será muito mais longo que o dia atual.

Na verdade, essa é uma interação comum entre corpos que estão um em órbita ao redor do outro. De fato, eles só encontram estabilidade quando ambos estão girando no mesmo ritmo, e com rotação e translação equivalentes. Hoje, a Lua já mantém a mesma face voltada para a Terra permanentemente. Avançando mais alguns bilhões de anos, chegará o dia em que a Terra também terá sempre a mesma face voltada para a Lua – mas isso só acontecerá se nosso planeta sobreviver intacto à fase de gigante vermelha do Sol, quando acabar o hidrogênio no núcleo da estrela.

No entanto, o efeito talvez mais importante que a Lua pode ter tido na evolução da Terra foi a estabilização do seu eixo de rotação. A Terra gira ao redor de si mesma em torno de um eixo que guarda uma inclinação de cerca de 23,5 graus com relação à perpendicular ao plano de sua órbita solar. Essa inclinação não é fixa, e varia ligeiramente ao longo das eras. Mas, graças à Lua, a inclinação nunca foi muito diferente da atual, o que pode ter se mostrado uma vantagem tremenda na manutenção de um clima moderado e adequado à vida através dos tempos. Sabe-se, por exemplo, que Marte também tem um eixo inclinado (cerca de 25 graus), mas a presença das duas luas marcianas não impediu que esse



Adaptada por Sueli Prates (AEB/Programa AEB Escola). Imagem original publicada no sítio da Saint Louis University. www.slu.edu/index.xml

Figura 2.7. O eixo terrestre é inclinado, com relação à linha perpendicular ao plano de sua órbita, em 23,5 graus.

eixo variasse bastante ao longo dos 4,6 bilhões de anos de sua história. Isso porque as luas marcianas são muito menores e, portanto, exercem uma influência gravitacional muito menos intensa do que a nossa Lua.

Na verdade, este talvez seja o maior mistério acerca de nosso satélite natural – por que ele é tão grande? Embora a Terra seja apenas o quinto planeta do Sistema Solar em tamanho, ela possui a sexta maior lua conhecida. As cinco primeiras estão distribuídas entre Júpiter, Saturno e Netuno, todos planetas com múltiplos satélites e muito maiores que a Terra.

Os astrônomos sempre estiveram muito intrigados com as origens da Lua. O raciocínio mais imediato seria pensar numa feliz coincidência: Terra e Lua teriam se formado lado a lado, no mesmo processo que deu origem aos planetas vizinhos. No entanto, cálculos mostram que um nascimento assim dificilmente pode ser compatibilizado com os padrões vistos hoje na Lua, em termos de massa e características orbitais.

Com essa hipótese excluída, sobram duas. A primeira delas é a de que a Lua tivesse sido formada em alguma outra parte do sistema e, ao vagar pelo espaço, em algum ponto remoto do passado, acabasse sendo capturada pelo poço gravitacional da Terra, do mesmo modo que aconteceu com Fobos e Deimos, ao redor de Marte. Mas os cientistas sabem que dois pedregulhos de meia-pataca como os satélites marcianos não são comparáveis à nossa Lua. A chance de que um objeto do tamanho lunar (com seus impressionantes 3.476 quilômetros de diâmetro) fosse capturado pela Terra numa órbita quase circular é praticamente inexistente. O que deixou os cientistas com uma só idéia: a Lua provavelmente nasceu de um pedaço da Terra que se desprendeu naturalmente, antes que o planeta terminasse sua formação.

Como se pode imaginar, era a melhor idéia, mas também não era boa o suficiente. Para que a Terra "cuspisse" um pedaço de si, precisaria estar girando a uma velocidade estonteante, completando uma volta em torno de si mesma a cada 2,5 horas!

Todos os cálculos baseados no processo de formação planetária sugerem que é improvável que nosso planeta tenha girado de maneira tão selvagem em algum ponto do passado.

A hipótese mais aceita atualmente sobre o surgimento da Lua

Os astrônomos passaram séculos perdidos entre essas três idéias. Isso até 1975, quando os americanos William Hartmann e Donald Davis, revivendo noções primeiro aventadas nos anos 1940, mas nunca levadas realmente a sério, apresentaram a teoria que assumiria a liderança entre as candidatas à formação lunar. Já munidos das informações obtidas pelos astronautas que foram até a Lua, que revelaram detalhes sobre o interior lunar e sua baixa quantidade de ferro (comparada ao que há no núcleo dos planetas rochosos), eles sugeriram que o sistema Terra-Lua tenha sido fruto de um gigantesco acidente de trânsito cósmico.

Durante os estágios finais de formação da Terra, há 4,6 bilhões de anos, um objeto do tamanho de um planeta como Marte (que tem cerca de 6.800 km de diâmetro) teria se chocado com o nosso, espalhando material dos dois corpos em órbita. Em pouco tempo, essa massa ejetada teria se reorganizado para produzir a Lua. Como a Terra já estava quase "pronta" no momento da colisão, o impacto não teria sido capaz de arrancar uma parte do ferro contido em seu núcleo, explicando o porquê da pequena quantidade dessa substância e a baixa densidade média da Lua, apesar dos diversos parentescos em outros elementos compartilhados pelos dois astros.

Hoje, essa é a hipótese mais aceita para o surgimento da Lua, embora ainda faltem provas definitivas de que as coisas de fato aconteceram deste modo. Mas, mesmo que a teoria não esteja 100% comprovada, ela nos fala de um perigo bem real – talvez o maior fator transformador da história da vida na Terra não tenha sido a presença constante do Sol ou da Lua, mas, o potencial de devastação causado pelos impactos siderais. De tempos em tempos, eles acontecem, e, ao menos

até agora, não há nada que se possa fazer para evitá-los. Não seria exagero dizer que esses acidentes provocaram extinções em massa mais de uma vez na Terra e deram verdadeiros "pitacos" na seta de evolução, culminando no surgimento do homem. Gostemos ou não, estamos aqui somente porque um bólido espacial acabou com a "festa" dos dinossauros, 65 milhões de anos atrás.

Don Davis/Nasa. www.nasa.gov/

Figura 2.8. Ilustração do impacto que teria destruído os dinossauros há 65 milhões de anos.

A AMEAÇA QUE VEM DO ESPAÇO

Embora a Lua tenha sido a primeira a denunciar a ocorrência de violentos choques cósmicos de tempos em tempos, a ficha demorou a cair entre os astrônomos. É um longo e tortuoso caminho o que liga o céu imutável, perfeito e ordenado de Aristóteles a um que gera tantas e tão radicais mudanças. Sem falar que, durante muito tempo, foram poucas as evidências de que houvesse algum perigo. Até que a tecnologia pudesse dominar a pesquisa astronômica, era muito raro ver algo no céu que contrariasse os preceitos aristotélicos. Um desses eventos eram as "novas" (em geral, estrelas distantes que esgotaram seu combustível e explodiram, tornando-se muito brilhantes), como observadas nos séculos 16 e 17, que pareciam inofensivas o bastante para não gerar reais preocupações. Outro tipo de aparição, mais comum e, paradoxalmente, mais assustador, era o dos **cometas**.

Cometa: pequeno corpo de gelo e rocha orbitando o Sol em uma longa e excêntrica órbita.

Hoje sabemos que esses objetos são agregados de poeira e gelo que giram ao redor do Sol, na maior parte das vezes em órbitas bastante alongadas. Conforme se aproximam mais da estrela, o gelo que os compõe começa a sublimar (converter-se de sólido em gás) e forma a chamada coma (ou cabeleira) que envolve o astro, juntamente com a cauda. Esse fenômeno torna o objeto bastante luminoso, justo nos momentos em que ele passa pelo Sistema Solar Interior, onde a Terra está localizada. Não é à toa

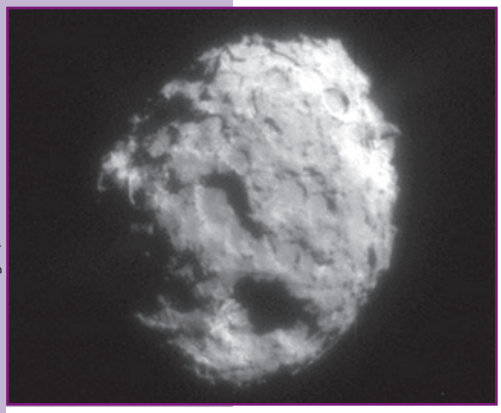
Nasa. www.nasa.gov/

Figura 2.9. Imagem do cometa Halley obtida em observações aéreas em 1986.

que os cometas costumam dar belos *shows* no firmamento quando aparecem.

Por conta de sua aparente imprevisibilidade (resultante, na maioria dos casos, do tamanho de suas órbitas, que podem consumir até milhares de anos antes que o objeto dê uma volta completa), os cometas sempre trouxeram terror e apreensão entre os humanos – acabaram associados à morte de reis e lideranças, a tal ponto de induzir monarcas a abdicarem do trono em favor de outra pessoa, apenas para matá-la e cumprir a profecia, voltando ao poder assim que o astro desaparecesse dos céus.

O cometa Halley, com suas aparições separadas por 76 anos, acabou se tornando o gatilho para um grande número de mortes ao longo da história. No ano 240, Gêngis Khan ordenou a morte de cerca de 1 milhão de pessoas para afastar o "mau agouro" da passagem do Halley. O cometa também foi "responsabilizado", ao longo da história, por várias coisas, como a peste bubônica e o incêndio de Londres.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 2.10. Núcleo do cometa Wild-2, em imagem enviada pela sonda Stardust.

Os cometas não tinham espaço no céu imutável aristotélico, o que fez esse pensador grego atribuir a eles uma natureza atmosférica, não celeste. Mas, em 1577 o astrônomo dinamarquês Tycho Brahe derrubou essa idéia, ao constatar, por meio de cálculos, triangulações e observações, que um cometa aparecido naquele ano estava claramente mais distante da Terra que a Lua – portanto acima da esfera sublunar.

Ainda assim, pouco se sabia sobre a natureza desses objetos. Foi lento o progresso no sentido de decifrar os mistérios e perceber que, de fato, os cometas poderiam ser uma ameaça à Terra, caso se chocassem com o planeta.

O primeiro aviso nesse sentido veio do astrônomo britânico Edmond Halley (1656-1742), que com justiça emprestou seu nome ao famoso cometa, depois de tê-lo identificado e previsto sua periodicidade de 76 anos. Em 1694, Halley sugeriu que impactos de cometas devem ter causado catástrofes globais no passado. Um século mais tarde, o matemático e astrônomo francês Pierre Simon de Laplace (1749-1827) faria a mesma sugestão.

***Edmond Halley** foi um dos mais aclamados astrônomos de seu tempo. Amigo do também britânico Isaac Newton, Halley fez muitas observações importantes, entre as quais se destaca a previsão da periodicidade de um cometa, que acabou levando seu nome.*

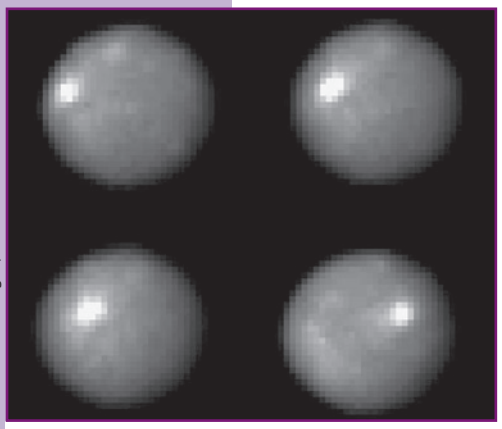
Com o passar do tempo, os astrônomos foram dividindo os cometas em três categorias. Os de curto período completam uma volta ao redor do Sol em no máximo 20 anos, raramente ultrapassando muito além da órbita de Júpiter em sua posição mais afastada. Os de médio período levam de 20 anos a 200 anos para concluir sua rota ao redor do Sol e normalmente vêm de uma faixa de objetos localizada além de Netuno, denominada cinturão de Kuiper (em homenagem ao astrônomo holandês Gerard Kuiper (1905-1973), que previu teoricamente sua existência em 1951). Finalmente, os de longo período levam mais de 200 anos para completar uma volta e costumam vir da chamada nuvem de Oort (batizada depois de ter sido sugerida pelo também holandês Jan Hendrik Oort (1900-1992), em 1950), região muito mais distante que o cinturão de Kuiper, 100 mil vezes mais afastada do Sol que a Terra. Esses objetos mais remotos, em sua maioria, foram vistos apenas uma vez na história registrada da astronomia, dada a lentidão com que voltam a reaparecer.

O mais dramático de tudo isso, no entanto, é que, em suas órbitas elípticas, os cometas muitas vezes cruzam o caminho da Terra quando estão se aproximando do Sol – o que torna uma colisão possível, caso o planeta esteja no lugar errado, na hora errada. Na verdade, os cientistas hoje chegam a especular que no passado remoto a colisão com cometas tenha sido benéfica à Terra, abastecendo-a com a vasta quantidade de água que depois repousaria em seus oceanos. De toda forma, atualmente um impacto seria absolutamente catastrófico, podendo até mesmo ocasionar a extinção repentina da espécie humana.

Asteróide: pequeno corpo rochoso orbitando o Sol, usualmente no cinturão de asteróides entre Marte e Júpiter.

Mas, como diz o ditado, "desgraça pouca é bobagem". Hoje os cientistas sabem que os cometas, em especial os de longo período, que fazem aparições desavisadas e, portanto, podem ocasionar uma catástrofe sem que um alerta seja dado, respondem por apenas 10% de todo o perigo que ronda a Terra. É uma percepção assustadora, que começou a aparecer com uma descoberta feita no alvorecer do século 19. Foi quando uma busca iniciada pelo italiano Giuseppe Piazzi (1746-1826) começou a dar frutos. Ele procurava um planeta entre Marte e Júpiter, uma vez que a distância entre os dois era estranhamente vasta para o entendimento que então havia do Sistema Solar.

Em 1º de janeiro de 1801, ele descobriu um objeto que de início lhe pareceu um planeta, mas ao final acabou se mostrando pequeno demais para entrar para a família. No máximo, ganhou a categoria de "planetóide" ou "planeta menor". Ceres, com seus parcos 933 quilômetros de diâmetro, acabou sendo o primeiro membro identificado do famoso cinturão de **asteróides**, composto por objetos concentrados entre as órbitas de Marte e de Júpiter. Ali eles oferecem pouco perigo para a Terra, mas a ameaça não pararia neles.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 2.11. Quatro imagens de Ceres – as melhores até hoje obtidas – feitas pelo Telescópio Espacial Hubble.

Em 1932, foram descobertos dois asteróides de um tipo singular. Eram parecidos em tudo com seus parentes do cinturão, mas, suas órbitas não estavam confortavelmente posicionadas entre as de Marte e Júpiter. Em vez disso, mergulhavam na região interna do sistema e atravessavam a órbita terrestre. Outras descobertas ainda mais desconfortáveis viriam nos anos seguintes. Em 1937, um asteróide chamado Hermes, com cerca de 800 metros de diâmetro, foi observado por alguns dias ao passar de raspão pela Terra, a apenas 670 mil quilômetros de distância (menos de duas vezes o percurso Terra-Lua).

Depois dessa passagem, discutir a ameaça dos asteróides deixou de ser uma questão de "se eles podem nos atingir", mas de "quando e com que freqüência eles o fazem". Em 1941, o astrônomo americano Fletcher Watson (1912-1997) fez a primeira estimativa da taxa de impactos com a Terra, com base na descoberta dos primeiros asteróides que hoje chamamos de *Near Earth Asteroids* (NEA) [Asteróides Próximos à Terra], assim classificados por, em algum ponto de suas trajetórias, chegarem a até 7,5 milhões de quilômetros da órbita terrestre.

Em 1949, o astrofísico Ralph Baldwin (1912-) já antecipava a potencial catástrofe de um impacto na Terra, com base em observações das crateras lunares. Ele escreveu em seu livro *The face of the moon* [A face da Lua]:

> Como a Lua sempre foi companheira da Terra, a história da primeira é apenas um paralelo da história da segunda. (...) Não há garantia de que esses impactos meteoríticos tenham sido restringidos ao passado. De fato, temos evidência positiva de que meteoritos e asteróides ainda abundam no espaço e ocasionalmente se aproximam da Terra. A explosão que formou a cratera [lunar] Tycho (...) iria, em qualquer lugar da Terra, ser uma coisa horrível, quase inconcebível em sua monstruosidade. (Baldwin, citado por Nasa, 1992).

Atualmente, estima-se que existam cerca de 1.100 NEAs potencialmente ameaçadores à civilização – ou seja, com mais de um quilômetro de diâmetro. Uma grande parcela do total segue desconhecida, em razão da dificuldade de detectar esses objetos, mas os cientistas pretendem ter 90% deles catalogados até 2008.

A atmosfera, em tese, oferece alguma proteção contra os asteróides menores, que queimam como meteoros ao atravessar a camada de ar terrestre. Mas as coisas começam a ficar perigosas, ainda que não ameacem a continuidade da existência humana, quando um desses pedregulhos espaciais tem acima de 100 metros. Há pelo menos um registro histórico do impacto resultante de uma colisão desse tipo. Aconteceu em Tunguska, uma fria e isolada região da Sibéria, na Rússia, em 1908.

Saiba mais...

"Quase impacto" de Tunguska

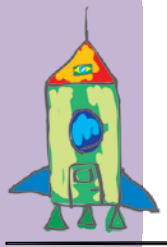
No dia 30 de julho de 1908, em Tunguska, Sibéria, um objeto vindo do espaço com, provavelmente, uns 60 metros de diâmetro explodiu a oito quilômetros de altitude, enquanto era massacrado pelo atrito com a atmosfera da Terra. A energia liberada pela desintegração do bólido foi equivalente à de uma grande bomba nuclear. O evento, ocorrido na atmosfera, causou uma onda de choque que atirou árvores ao solo por uma área de 2.000 quilômetros quadrados. Tivesse caído sobre uma grande cidade, teria causado perdas imensuráveis e matado milhões de pessoas.

Leonid Kulik. www.wikipedia.org/

Figura 2.12. Imagens mostram devastação de árvores pelo "quase impacto" de Tunguska, na Sibéria.

Um estudo realizado no fim de 2002 mostrou, de acordo com as mais recentes estimativas de quantos objetos dessas dimensões existem no espaço, que um impacto ocorre em média a cada mil anos. Obviamente, a probabilidade maior é a de que aconteça no oceano, onde o dano seria menor. Mas, quando estamos falando de asteróides com um quilômetro ou mais (que caem aqui em intervalos de várias dezenas de milhões de anos), onde quer que ele caia o estrago será imenso e em escala global. O que nos leva às grandes extinções. Na história da Terra, houve várias. Ao menos uma delas com certeza está associada ao impacto de um asteróide, e os cientistas suspeitam que outras também possam ter sido iniciadas pela queda de um bólido espacial. Cada um desses impactos gigantes teve o efeito de mudar radicalmente o curso da evolução da vida no planeta.

Uma bomba de hidrogênio é um artefato nuclear que produz energia induzindo a fusão de átomos, do mesmo jeito que o Sol faz em seu interior, mas de forma totalmente descontrolada. Uma única bomba desse tipo é quase 700 vezes mais potente que a bomba atômica explodida sobre Hiroshima, no Japão, em 1945.

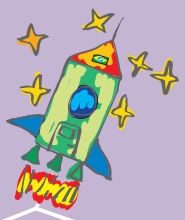


Impacto profundo

Há 65 milhões de anos, os dinossauros dominavam a Terra. Essas criaturas existiam nos mais variados tamanhos (embora o nosso costume seja sempre pensar nos grandalhões) e dominavam muitos dos nichos ecológicos do planeta. Os únicos mamíferos de então eram pequenos, vivendo com muito pouco – foi o que os ajudou a sobreviver depois que um asteróide ou cometa (não se sabe que tipo de objeto) colidiu com a Terra. A "cicatriz" deixada pelo impacto foi descoberta pelos cientistas na península de Yucatán, no golfo do México.

Segundo algumas estimativas feitas por especialistas, devia ser um objeto com 16 quilômetros a 19 quilômetros de diâmetro. O impacto seria equivalente à energia de detonação de 10 milhões a 100 milhões das mais poderosas bombas de hidrogênio já concebidas pelo homem. É um quadro aterrador. A área do impacto, na época, era um mar raso. Mesmo assim, ondas reverberaram pelo oceano e produziram grandes *tsunamis*, com um quilômetro de altura. No ponto de colisão, ocorreu a formação de uma cratera com centenas de quilômetros. A área ao redor, com mais de mil quilômetros de raio, foi totalmente carbonizada, esterilizada. Mais longe, incêndios foram produzidos, se espalhando por praticamente toda a América do Norte. A poeira levantada pelo impacto transformou o dia em noite, bloqueando a luz do Sol, por um período de dezenas de meses. A poluição atmosférica esfriou o clima repentinamente e gerou **chuva ácida**, que contaminou os oceanos em escala global.

Com a morte de espécies em massa, inclusive de plantas, que dependiam diretamente da luz do Sol, os dinossauros que não foram mortos pelo impacto não tinham como se alimentar. As criaturas dominantes da Terra se viram diante de uma crise ecológica sem precedentes e morreram de fome. Somente os bichos menores, como os mamíferos, conseguiram passar pelo "gargalo", graças às suas baixas necessidades, e proliferar, eventualmente recuperando os *habitats* perdidos.



Chuva ácida: contaminação da água que participa do ciclo hidrológico (ou seja, que evapora da superfície, forma nuvens na atmosfera e volta a chover) com compostos que geram poluentes altamente reativos e nocivos à vida, como ácido sulfúrico.

Foi devido a esse episódio fortuito que mamíferos de tamanhos que iam dos de cães aos de elefantes, passando pelo de seres humanos, puderam surgir e progredir. Somos, de certa maneira, produto da interação dos perigos do espaço exterior com a evolução da vida na Terra.

Por outro lado, agora, ao estudar o espaço e entender a natureza do perigo, estamos caminhando – ainda que não estejamos 100% seguros – para desenvolver tecnologias que nos protejam contra o futuro impacto de um asteróide. Graças à ciência, estamos começando a reverter o jogo e ditar as regras. Claro, há muito caminho a percorrer até que cheguemos lá, mas certamente não é à toa que o escritor britânico Arthur C. Clarke (1917-2008) avaliou que "os dinossauros morreram porque não tinham um programa espacial".

UMA COLEÇÃO DE PLANETAS

Planetologia comparada: ciência que estuda a origem e a evolução dos diferentes planetas a partir da comparação entre eles.

A percepção de que a Terra é apenas um mundo, em meio a tantos outros que giram ao redor do Sol, ajuda não só a entender como nosso planeta pode ser influenciado por acontecimentos celestes, mas também a se dar conta da razão pela qual certos fenômenos terrestres se desenvolvem. Ao tirar a Terra do centro do Universo, Copérnico nos escancara um campo científico totalmente novo e fascinante: **planetologia comparada**.

O termo é recente, e não poderia ser diferente. Quase nada poderíamos dizer sobre os outros planetas se não fossem as recentes expedições robóticas conduzidas no espaço. Antes de 1957, nossa visão do que poderíamos esperar das condições a serem encontradas em outros planetas era muito mais fruto de nossa imaginação do que de real informação. Era o entusiasmo nascido do "princípio copernicano", segundo o qual não ocupamos um lugar especial no cosmos. Se a Terra é apenas um lugar, por que não encontrar coisas tão fascinantes ou até mais do que as que temos aqui em outros planetas? Esse era o raciocínio da época.

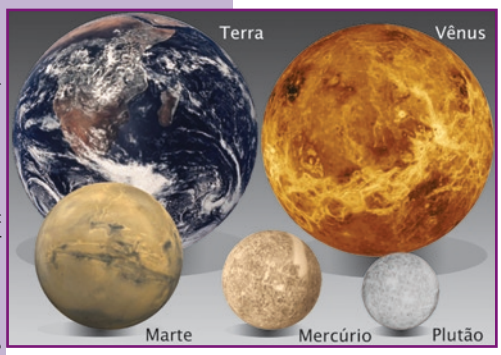
Em *The Exploration of Space* [A exploração do espaço], de 1958, Arthur C. Clarke sintetiza o conhecimento adquirido sobre os planetas antes das primeiras investidas espaciais e manifesta a expectativa de encontrar vida brotando de vários lugares diferentes do Sistema Solar. Ele praticamente exclui Mercúrio e Vênus (embora ressalte que as nuvens venusianas deixam passar muito pouca informação sobre o que há em sua superfície para que descartemos a hipótese de vida), mas aponta que Marte, com suas calotas polares sazonais (que ele imagina serem feitas totalmente de gelo de água), poderia ser um abrigo para formas biológicas. Entretanto, ele se mostra bem menos entusiasmado que Percival Lowell (1885-1916), o americano que, no final do século 19, aventava a hipótese de que havia uma civilização moribunda em Marte construindo canais loucamente, para combater a seca que afligia aquele mundo – idéia que obviamente se mostrou equivocada.

Sobre o que há além de Marte, o escritor inglês é mais cauteloso, embora pareça já andar na trilha correta, ao menos para categorizar os quatro planetas gigantes, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno. Escreveu ele:

> O menor desses tem quatro vezes o diâmetro da Terra, mas suas densidades são extremamente baixas (no caso de Saturno, chega a ser menor do que a da água). Somos forçados a concluir disso que os quatro planetas gigantes são parcialmente gasosos ou líquidos, talvez possuindo núcleos sólidos em grandes profundidades abaixo de uma atmosfera imensamente espessa. Observações telescópicas apóiam essa teoria, pois Júpiter e Saturno mostram mudanças – assim como vastas perturbações ocasionais – que dificilmente poderiam ocorrer se eles fossem corpos sólidos. (CLARKE, 1958, pp. 121-122).

A exploração robótica do Sistema Solar demonstrou exatamente isso – e muito mais. No final das contas, longe de uma família homogênea, ficou claro que a coleção de planetas do Sistema Solar pode ser dividida em pelo menos dois grupos distintos.

Na região interna, até Marte, temos os "planetas terrestres". O nome não diz respeito à similaridade com a Terra, mas, indica sua propriedade mais elementar, qual seja sua composição



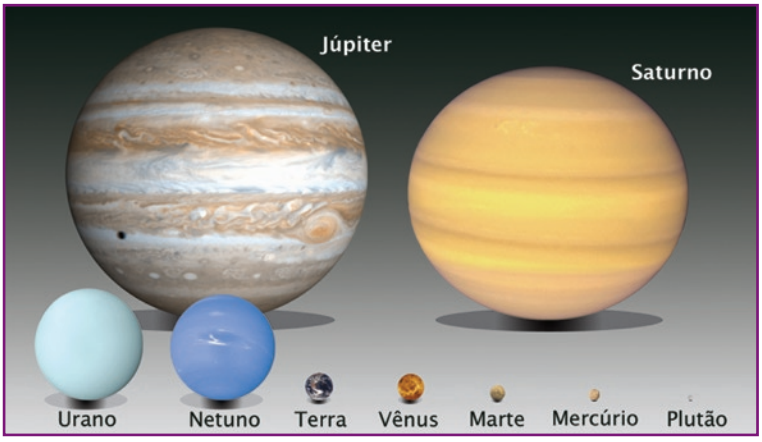
Adaptada de imagem publicada no sítio de Jeff Rense. http://www.rense.com/

Figura 2.13. Os quatro planetas terrestres, Terra e Vênus ao fundo, Marte e Mercúrio à frente, mais Plutão, recentemente reclassificado como planeta anão.

rochosa. Fazem parte desse grupo Mercúrio, Vênus, Terra e Marte.

Após o cinturão de asteróides, encontramos Júpiter, o primeiro dos quatro "gigantes gasosos". Sua composição é majoritariamente de hidrogênio e hélio, as matérias-primas mais abundantes do Universo, e seu estado é gasoso, exceto por um núcleo possivelmente sólido nas profundezas de seu interior. O mesmo ocorre com Saturno, o segundo maior planeta do Sistema Solar.

Depois deles, encontramos outros dois gigantes gasosos, mas com uma aparência diferente: são eles Urano e Netuno. Ambos são muito similares um ao outro, e possuem menor proporção de hidrogênio e hélio que Júpiter e Saturno (embora esses ainda sejam os principais componentes da atmosfera), somados a um toque de metano. E, por estarem mais distantes do Sol, possuem um solo congelado sob sua grande atmosfera.

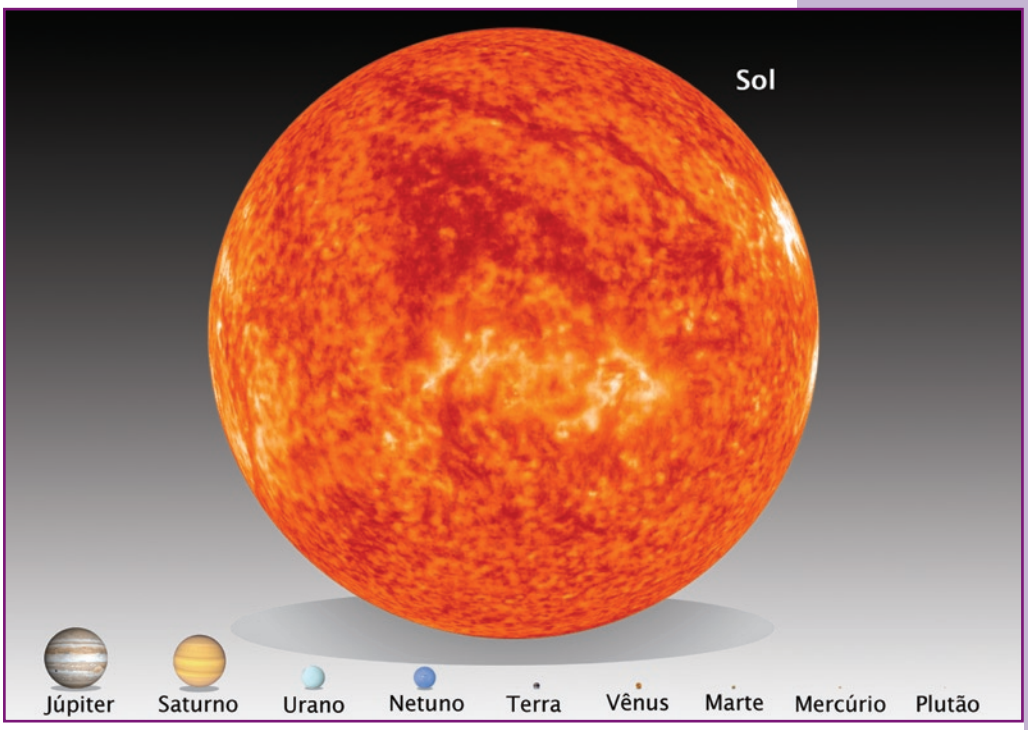


Adaptada de imagem publicada no sítio de Jeff Rense. http://www.rense.com/

Figura 2.14. Comparação dos tamanhos dos planetas numa mesma escala. Ao fundo Júpiter e Saturno e na frente Urano, Netuno, Terra, Vênus, Marte, Mercúrio e Plutão, reclassificado em 2006 como planeta anão.

Finalmente, temos, depois de Netuno, Plutão e outros corpos de porte similar. De início, quando foi descoberto, em 1930, pelo americano Clyde Tombaugh, Plutão foi considerado um planeta. Mas, após muitos anos de debate e estudo, em 2006 a União Astronômica Internacional decidiu excluí-lo da lista, deixando o Sistema Solar com apenas oito planetas. Plutão, agora reclassificado como um "planeta anão", é apenas mais um dos objetos pertencentes ao cinturão de Kuiper.

A despeito de quem é planeta e quem não é nessa história toda, o mais importante é que, ao compararmos os diversos mundos no Sistema Solar, aprendemos muito mais sobre o nosso.

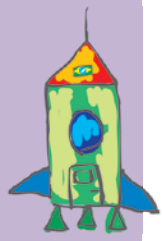


Adaptada de imagem publicada no sítio de Jeff Rense. http://www.rense.com/

Figura 2.15. Comparação entre os volumes do Sol e dos planetas numa mesma escala.

Hoje, por exemplo, uma das coisas que mais se fala da Terra, em termos globais, é o acirramento do efeito estufa. Ocorre que esse fenômeno foi descoberto não na Terra, mas em Vênus! E lá a coisa realmente é pesada. Uma atmosfera 90 vezes mais densa

que a terrestre, recheada de gás carbônico, impede que o calor escape. Resultado: é o planeta mais quente do Sistema Solar, com temperaturas mais ou menos constantes dia e noite, ao redor dos 450^{0}C. Lá, até mesmo as rochas brilham no escuro, de tão quente que é.



O efeito estufa consiste na propriedade que a atmosfera tem de permitir que os raios solares atinjam o solo, e depois impedir que o calor escape refletido para o espaço.

O mecanismo é parecido com o que acontece dentro das estufas de plantas, daí o nome.

O mais assustador da história é que Vênus é um planeta, em termos de tamanho, muito parecido com a Terra. Ele está um pouco mais próximo do Sol do que nós, mas só isso não parece justificar a diferença monstruosa de temperatura. Sua evolução é uma demonstração cabal de como planetas terrestres podem "dar errado", se comparados com a hospitaleira Terra.

O histórico venusiano torna mais preocupante o acirramento recente do efeito estufa terrestre (que, em seu estado natural, era benéfico, ao reduzir as variações de temperatura e manter o ambiente suficientemente confortável para a vida), em razão da injeção de gases causadores do fenômeno na atmosfera em decorrência de atividades humanas. Será que podemos, com isso, derrubar o equilíbrio existente e levar a Terra subitamente a um efeito estufa descontrolado, auto-reforçador, que poderia transformá-la numa irmã gêmea de Vênus? Embora seja quase unânime o consenso de que o planeta está se aquecendo, a maioria dos cientistas hoje pensa que não é possível que ele chegue rapidamente ao ponto em que Vênus chegou – mas o risco é alto demais para que não façamos mais estudos. E parte deles deve certamente envolver a investigação de por que o ambiente venusiano se tornou o que é.

Por que a Terra e Vênus têm menos crateras do que outros planetas?

Outros planetas também dão dicas de como o ambiente terrestre é diferente. Por exemplo, sabemos que a Terra e Vênus têm muito

menos crateras que Mercúrio, a Lua e Marte. Como explicar isso? As crateras são, em sua maioria, formadas pelo impacto de asteróides e cometas (e não por uma inteligência extraterrestre, como desconfiava Kepler), e os modelos de formação do Sistema Solar indicam que todos os planetas terrestres devem ter sofrido mais ou menos o mesmo número de colisões. (Na verdade, Terra e Vênus, por serem os maiores do grupo, deveriam ter tido mais impactos!) Então, o que aconteceu?

Os cientistas descobriram que a atividade interna dos planetas – na forma, principalmente, de vulcanismo – pode apagar os sinais deixados por impactos na superfície. Terra e Vênus são menos marcados porque são geologicamente os membros mais ativos entre os planetas terrestres. De outro lado, a presença de crateras ajuda a "datar" um terreno, descobrir se ele é muito velho. Essa tática é usada até hoje para identificar, por meio de observações feitas do espaço, qual é a idade de uma dada região de Marte.

Conforme os estudos dos planetas continuam, certamente descobriremos mais diferenças e semelhanças relevantes para o entendimento da própria Terra, o que só ressalta a importância da exploração de outros mundos, mesmo que o objetivo seja revelar fatos e fenômenos da realidade terrestre.

LEITURAS COMPLEMENTARES

A QUESTÃO PLUTÃO – RESOLUÇÃO DA UNIÃO ASTRONÔMICA INTERNACIONAL DE 2006

Thaís Mothé Diniz (Observatório Nacional – ON).

A descoberta casual de Urano, em 1781, por William Herschel e a identificação de irregularidades associadas à sua órbita (discrepâncias entre as observações e as efemérides) levaram os astrônomos a sugerir a existência de um outro planeta, além de Urano, que poderia ser o causador dessas irregularidades. Foram feitos cálculos para prever onde estaria este planeta, e uma busca foi iniciada, resultando na descoberta de Netuno em 1846. Entretanto, as irregularidades permaneciam, agora também na órbita de Netuno. Diversos astrônomos interpretaram-nas como sendo causadas por um planeta adicional, ainda mais distante. Entre estes astrônomos estava Percival Lowell, que calculou a posição onde deveria estar o nono planeta, então apelidado "Planeta X", e construiu um observatório para a busca, o *Lowell Observatory*.

Plutão só foi descoberto em 1930, após a morte de Lowell, pelo astrônomo americano Clyde Tombaugh, que trabalhava no *Lowell Observatory*. Quanto às irregularidades nas órbitas de Urano e Netuno, hoje sabemos que eram devidas a incorreções na estimativa da massa destes objetos, e não causadas pela atração gravitacional de um planeta desconhecido. Na verdade, podemos dizer que Tombaugh teve sorte na descoberta de Plutão, um objeto muito fraco nas placas fotográficas, e que, alguns anos antes, havia passado despercebido pelo próprio Lowell.

Já na época de seu descobrimento, Plutão foi considerado um planeta "anômalo", com órbita muito excêntrica e inclinada,

enquanto todos os demais possuem órbitas quase circulares (excentricidades baixas) e estão todos aproximadamente no mesmo plano (baixas inclinações). Além disso, seu diâmetro era muito inferior aos demais (~18% do diâmetro da Terra). Posteriormente, viu-se ainda que, pela composição, Plutão não se encaixava nem na categoria de planeta rochoso, nem na de planeta gasoso. A densidade de Plutão (bem como a de um de seus satélites, Caronte) é aproximadamente duas vezes a da água, o que indica que é composto por uma mistura de gelo e material rochoso. Estima-se que a temperatura superficial em Plutão seja de, aproximadamente, 40 Kelvin (-233^{o}C). O conjunto das características de Plutão fez com que por muitos anos ele fosse considerado um "estranho" mundo gelado, em uma órbita "diferente".

Nas décadas de 1940 e 1950, Gerard Kuiper e Kenneth Edgeworth (1880-1972) sugeriram que ele não era o único, mas que existiria uma miríade de objetos gelados orbitando em um disco localizado para além de Netuno, e que Plutão seria o mais brilhante desses objetos. Esse disco foi denominado Cinturão de Edgeworth-Kuiper, ou simplesmente Cinturão de Kuiper. Nos anos subseqüentes as buscas por objetos do Cinturão de Kuiper foram frustradas, nenhum objeto foi detectado, e o cinturão caiu no esquecimento. O primeiro objeto do cinturão de Edgeworth-Kuiper, entretanto, só foi detectado ao telescópio em 1992, em Mauna Kea, Havaí, mais de 60 anos depois da descoberta de Plutão! Desde então já foram observados mais de mil desses objetos, com diâmetros entre 50 km e 2.000 km. Estimativas atuais, baseadas no número de objetos descobertos até o momento e na fração do céu que foi "varrida" nas buscas, indicam que existem ao menos 100.000 objetos gelados com diâmetros maiores do que 100 km.

Com a descoberta observacional do Cinturão de Kuiper, Plutão deixou de ser um corpo anômalo, mas passou a fazer parte de um grupo de objetos, equivalente ao Cinturão de Asteróides que está localizado entre as órbitas de Marte e Júpiter, porém na parte externa do Sistema Solar, na região "gelada" que se estende desde a órbita de Netuno até aproximadamente 50 UA.

Um resultado recente sobre o Cinturão de Kuiper é que, da mesma forma que Plutão, muitos de seus objetos estão em ressonância 3:2 de movimento médio com Netuno. Isso significa que eles completam duas órbitas em torno do Sol no mesmo tempo que Netuno completa três órbitas. Esses objetos são denominados "Plutinos", por sua semelhança "dinâmica" com Plutão.

A nova definição de Planeta

A nova resolução da The International Astronomical Union (IAU) [União Astronômica Internacional] diz que "Planeta é todo corpo celeste que cumpra as seguintes condições" (http://www.iau.org/static/resolutions/Resolution_GA26-5-6.pdf):

a. esteja em órbita em torno do Sol;

b. tenha massa suficiente para que sua auto-gravidade se sobreponha às forças de um corpo rígido de modo que o corpo esteja em equilíbrio hidrostático, isto é, seja arredondado; e

c. seja dinamicamente dominante na vizinhança de sua órbita.

A IAU também introduziu uma nova terminologia em astronomia: a de Planeta Anão. Para um corpo ser um "Planeta Anão", ele tem que cumprir as duas primeiras condições da definição de Planeta, não satisfazer a terceira e:

a. não ter limpado a vizinhança de sua órbita; e

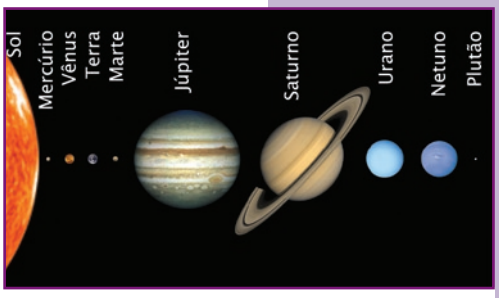
b. não ser satélite de nenhum planeta.

Todos os demais objetos, exceto os satélites, serão chamados de "Pequenos Corpos do Sistema Solar".

O SISTEMA SOLAR

João Batista Garcia Canalle (Uerj).

A teoria mais aceita atualmente sugere que o Sistema Solar surgiu de uma nuvem primitiva de gás e poeira ao redor de 4,6 bilhões de anos atrás. A gravidade fez com que esta névoa sofresse uma contração, num processo que durou dezenas de milhões de anos, até que a maior parte de sua massa se concentrasse no centro do sistema. Devido à turbulência, o núcleo original começou a girar com velocidade cada vez maior, dando ao restante da névoa a forma de um disco.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 2.16. Os planetas do Sistema Solar e Plutão, o planeta anão, numa mesma escala. O Sol está fora da escala dos planetas e as distâncias entre eles é apenas esquemática.

A temperatura do centro da nuvem foi aumentando à medida que ela se comprimia, até se tornar quente o suficiente para que o Sol começasse a brilhar. Enquanto isso, a periferia do disco foi se esfriando, permitindo que a matéria se solidificasse.

À medida que as partículas colidiam, elas foram se unindo, formando corpos cada vez maiores. Esses corpos são atualmente os oito planetas que giram em torno do Sol.

Essa teoria foi proposta, primeiramente, pelo francês Pierre Simon de Laplace e vem sofrendo aperfeiçoamentos desde então.

Mercúrio

É o planeta mais próximo do Sol, o que dificulta sua observação no céu, embora seja visível a olho nu quando em configuração favorável. Ambos os diâmetros (equatorial e polar) são de 4.878 quilômetros, e a translação ao redor do Sol se efetua em 88 dias, enquanto a rotação ocorre em 58 dias, 15 horas, 27 minutos e 42 segundos.

Adler Planetarium & Astronomy Museum. www.adlerplanetarium.org/

Figura 2.17. Mercúrio em imagem obtida pela sonda Mariner 10.

Devido à proximidade com o Sol, as temperaturas em Mercúrio oscilam entre 430 graus Celsius, de dia, e -170 graus Celsius, à noite. O planeta não possui atmosfera e sua superfície é repleta de crateras.

University College London (UCL), *Department of Physics & Astronomy*. www.ucl.ac.uk/

Figura 2.18. Vênus, em imagem de radar obtida pela sonda Magellan.

Vênus

É o mais brilhante dos planetas, com órbita situada entre a de Mercúrio e a da Terra. Como é um planeta interior, apresenta fases semelhantes às da Lua, se observado com um instrumento de pequeno porte. Ao telescópio, não mostra na superfície marcas bem definidas, pois é coberto por atmosfera espessa, composta em pelo menos 95% de gás carbônico, o que acarreta temperaturas superiores a 464 graus Celsius, por conta do efeito estufa (mais quente, portanto, que Mercúrio). As nuvens venusianas são formadas por gotículas de ácido sulfúrico, composto extremamente corrosivo. Em 1993, a superfície de Vênus foi completamente mapeada pela sonda americana Magellan (Magalhães). Ambos os diâmetros do planeta são de 12.104 quilômetros, e os períodos de translação em torno do Sol e de rotação se completam respectivamente em 225 e 243 dias terrestres, sendo a rotação retrógrada.

Nasa. www.nasa.gov/

Figura 2.19. A Terra e a Lua, vistas pela sonda Galileo.

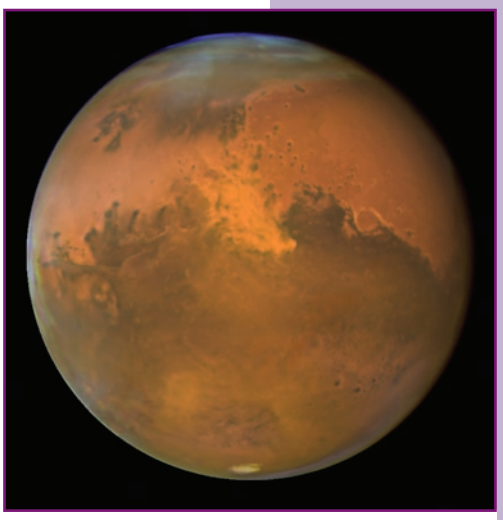
Terra

O terceiro planeta do Sistema Solar, pela ordem de afastamento do Sol. Seu diâmetro equatorial equivale a 12.756 quilômetros, enquanto o diâmetro polar é de 12.713 quilômetros. Assim sendo, a Terra não é uma esfera perfeita. O movimento de rotação se realiza em 23 horas, 56 minutos e 4 segundos, e o movimento de translação

ao redor do Sol em 365 dias, 5 horas, 48 minutos e 46 segundos. Apresenta-se envolto numa massa gasosa (atmosfera). Possui uma lua e é o único do Sistema Solar, até onde se sabe, a ter vida.

Marte

O quarto planeta em ordem de afastamento do Sol e o único do Sistema Solar a apresentar aspectos e características análogos aos da Terra. Sua superfície mostra terrenos crivados de crateras, vales sinuosos onde outrora hão de ter corrido rios, campos de neve carbônica e dunas de areia. Seu diâmetro equatorial é de 6.794 quilômetros, enquanto o polar equivale a 6.760 quilômetros. A translação em torno do Sol se realiza em 687 dias, e a rotação em 24 horas, 37 minutos e 22 segundos. Sua massa é 10,7% da terrestre. Possui duas luas, Fobos e Deimos, ambas descobertas em 1877 pelo astrônomo americano Asaph Hall (1829-1907).



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 2.20. Marte, em imagem capturada pelo Telescópio Espacial Hubble.

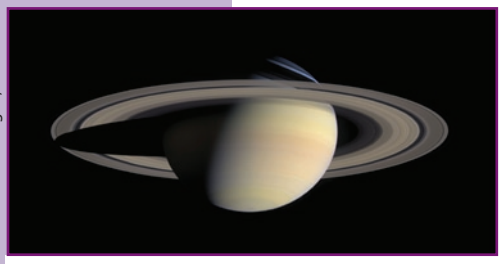
Júpiter

O maior planeta do Sistema Solar, que orbita entre Marte e Saturno. O diâmetro equatorial equivale a 142.796 quilômetros; já o polar é de 133.515 quilômetros. Júpiter tem uma massa 318 vezes superior à da Terra, e sua rotação se dá em cerca de 9,9 horas (é impossível determinar com exatidão, pois a velocidade de rotação joviana varia com a latitude, uma vez que se trata de um planeta essencialmente gasoso), enquanto a translação ao redor do Sol se dá em 4.329 dias

Nasa. www.nasa.gov/

Figura 2.21. Júpiter, em imagem da sonda Cassini.

(cerca de 11,8 anos terrestres). É visível a olho nu como uma estrela de magnitude -2,5 no momento de máximo brilho e, observado ao telescópio, apresenta a forma de um disco achatado e atravessado por faixas escuras paralelas ao equador, que delimitam entre si zonas mais claras. No interior de tais faixas se observam marcas superficiais de formas irregulares e coloração particular; duas dessas formações se distinguem das restantes: a "Grande Mancha Vermelha" (marca rósea situada na zona temperada sul do planeta, observada pela primeira vez em 1665 por Jean-Dominique Cassini, astrônomo francês de origem italiana. Parece tratar-se de uma massa gasosa flutuante na superfície do planeta e sua proporção equivale a mais do dobro do tamanho da Terra) e a "Perturbação Austral" (marca observada pela primeira vez em 1901, localizada nas latitudes austrais do planeta e possuidora de um movimento de rotação superior ao dos outros objetos da mesma região). Júpiter possui ainda um tênue anel e 63 luas (até agora descobertas), das quais 16 se destacam. Ei-las, em ordem de afastamento do planeta: Métis, Adrastéia, Amaltéia, Tebe, Io, Europa, Ganimedes (a maior delas), Calixto, Leda, Himalia, Elara, Lisitéia, Ananque, Carme, Pasífaa e Sinope. Em julho de 1994, o lado de Júpiter onde era noite foi atingido pelo cometa Shoemaker-Levy 9, o que provocou imensos clarões na noite joviana. (O cometa recebeu esse nome porque foi descoberto em 1993 pelo casal de cientistas Carolyn (1929-) e Eugene Shoemaker (1928-1997) e por David Levy (1948-), do Observatório de Monte Palomar, na Califórnia.)



Nasa. www.nasa.gov/

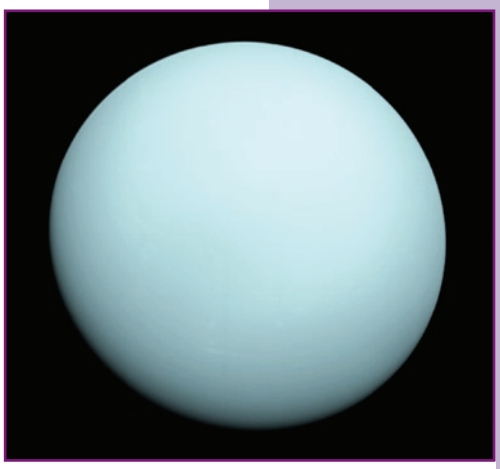
Figura 2.22. Saturno, em imagem obtida pela sonda Cassini.

Saturno

O sexto planeta do Sistema Solar, pela ordem de afastamento do Sol, e o segundo em volume, com diâmetro equatorial de 120.835 quilômetros e diâmetro polar de 107.785 quilômetros, com densidade oito vezes menor que a da Terra. Distingue-se dos demais planetas do Sistema Solar por possuir um vasto sistema de anéis. Sua translação em torno do Sol se completa

em 10.752 dias (cerca de 29 anos terrestres), e a rotação, na zona equatorial, em pouco mais de 10,6 horas (o valor exato é incerto). Saturno possui, até onde se conhece, 56 luas. A maior delas se chama Titã.

Urano

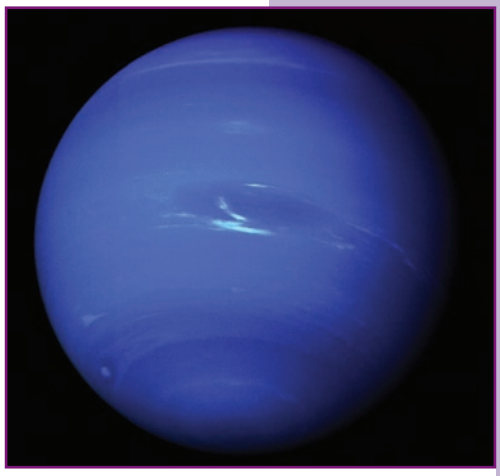


Wikipédia. www.wikipedia.org/

Figura 2.23. Urano, em imagem da sonda Voyager 2.

O sétimo planeta do Sistema Solar, pela ordem de afastamento do Sol e historicamente, o primeiro descoberto pela astronomia moderna. Seu descobridor foi o astrônomo inglês William Herschel, em 13 de março de 1781. De início, Herschel pensou que se tratasse de um cometa. Cinco meses depois, o astrônomo francês Pierre Simon de Laplace constatou que o "cometa" na verdade era um planeta. Em boas condições de visibilidade, Urano é visível a olho desarmado, pois na oposição atinge a magnitude 5,8. Tem um diâmetro equatorial de 51.800 quilômetros, e o polar é de 48.692 quilômetros. Seus movimentos de translação ao redor do Sol e rotação se completam, respectivamente, em 30.687 dias (84 anos terrestres) e 17,2 horas, sendo sua rotação retrógrada. Descobriu-se em 1977 que ele é cercado por vários anéis que lembram os de Saturno, mas são bem mais tênues. Possui 27 luas.

Netuno



Adler Planetarium & Astronomy Museum. www.adlerplanetarium.org/

Figura 2.24. Netuno, em imagem obtida pela sonda Voyager 2.

O oitavo e último planeta em ordem de afastamento do Sol, e o segundo descoberto na era moderna. Foi, também, o primeiro descoberto a partir de cálculos, antes de sua observação óptica. Essa descoberta se deve ao astrônomo francês Urbain Jean Joseph Leverrier (1811-1877), que previu corretamente sua existência em 1846,

utilizando-se de cálculos baseados nas irregularidades da órbita de Urano. Em 23 de setembro do mesmo ano, o astrônomo alemão Johann Gottfried Galle (1812-1910) encontrou a posição do planeta, que também havia sido fixada pelo inglês John Couch Adams (1819-1892), que não conseguiu mobilizar astrônomos ingleses a procurarem o astro. A atmosfera, composta de hidrogênio, hélio, metano e amoníaco, contém várias características marcantes, como a Grande Mancha Escura, a Pequena Mancha Escura e a Patineta. A translação se completa em 60.190 dias (164,8 anos terrestres), enquanto a rotação em 15 horas e 48 minutos. Possui 13 luas conhecidas, das quais a maior é Tritão.

Nasa. www.nasa.gov/

Figura 2.25. Plutão e suas três luas, em imagem do Telescópio Espacial Hubble.

O excluído: Plutão

Até meados de 2006, Plutão era oficialmente tido como o nono planeta do Sistema Solar. O "rebaixamento" aconteceu em 24 de agosto de 2006, quando a União Astronômica Internacional (IAU) votou uma nova definição de planeta, que só considerava um objeto como tal se ele estivesse relativamente sozinho na região de sua órbita. Como Plutão é apenas um dos muitos objetos do chamado cinturão de Kuiper, a IAU optou por reclassificá-lo, dando a ele o *status* de "planeta anão".

Plutão teve sua descoberta anunciada em 13 de março de 1930 por Clyde Tombaugh, astrônomo americano, após a série de pesquisas iniciada pelo astrônomo Percival Lowell. Embora no início os astrônomos pensassem que ele fosse muito maior, hoje sabe-se que tanto o diâmetro como a massa de Plutão são inferiores aos da Lua. Sua translação em torno do Sol se realiza em 90.553 dias (cerca de 248 anos terrestres), e a rotação em 6,3 dias, em sentido retrógrado. Em certas épocas, Plutão invade a órbita de Netuno. No periélio, Plutão dista 4,5 bilhões

de quilômetros do Sol, e no afélio, 7,5 bilhões de quilômetros. O objeto possui três luas: Caronte, descoberta em 1978, e Nix e Hidra, descobertas em 2005.

Os planetas em números

Astro	Mercúrio	Vênus	Terra	Marte	Júpiter	Saturno	Urano	Netuno
Massa (Terra = 1)	0,055	0,81	1	0,11	318	95,18	14,15	17,14
Diâmetro equatorial (km)	4.878	12.103	12.756	6.786	142.984	120.536	51.118	49.528
Volume (Terra = 1)	0,056	0,86	1	0,15	1.323	744	67	57
Densidade média (g/cm^3; água = $1 g/cm^3$)	5,42	5,25	5,52	3,94	1,33	0,69	1,27	1,71
Gravidade superficial equatorial (Terra = 1)	0,38	0,86	1	0,38	2,5	1,1	1,1	1,1
Velocidade equatorial de escape (km/s)	4,3	10,3	11,2	5	59,5	35,6	21,2	23,6
Inclinação axial (graus)	2	2	23,4	24	3,1	26,7	97,9	28,8
Período rotacional (duração do dia)	58,65 d	243,01 d*	23,93 h	24,62 h	9,92 h	10,67 h	17,23 h*	16,12 h
Temperatura superficial média (^0C)	-170 a 430	464	15	-40	-120	-180	-210	-220
Número de luas	0	0	1	2	63	56	27	13
Magnitude máxima aparente	-1,4	-4,4	-	-2,8	-2,8	-0,3	5,5	7,8
Afélio (milhões de km)	69,7	109	152,1	249,1	815,7	1.507	3.004	4.537
Periélio (milhões de km)	45,9	107,4	147,1	206,7	740,9	1.347	2.735	4.456
Distância média do Sol (milhões de km)	57,9	108,2	149,6	227,9	778,3	1.427	2.869,6	4.496,6
Velocidade orbital média (km/s)	47,89	35,03	29,79	24,13	13,06	9,64	6,81	5,43
Inclinação orbital (graus)	7	3,39	0	1,85	1,3	2,49	0,77	1,77
Período orbital (duração do ano) / (a = ano terrestre; d = dia terrestre)	87,97 d	224,7 d	365,26 d	1,88 a	11,86 a	29,46 a	84,01a	164,79 a

* = rotação retrógrada

ATIVIDADES

EXPLICANDO ASTRONOMIA BÁSICA COM UMA BOLA DE ISOPOR

João Batista Garcia Canalle (Uerj). Trabalho publicado no Caderno Catarinense de Ensino de Física, vol. 16, nº 3, p. 314 – 331, 1999.

Apresentação

Neste trabalho mostramos como usar uma bola de isopor para explicar os fenômenos astronômicos básicos, tais como: 1) dia e noite, 2) duração do dia e da noite, 3) estações do ano, 4) eclipses e 5) fases da Lua. Estes fenômenos, normalmente, são explicados nos livros didáticos de ciências e ou geografia do Ensino Fundamental, porém raramente sugerem o uso de algum material didático. Mostramos, então, que uma simples bola de isopor tem muito mais utilidades didáticas do que as figuras que acompanham as explicações dos livros didáticos.

Com as atividades aqui propostas, usando sempre a participação ativa dos alunos, materiais de baixo custo e disponíveis com facilidade no comércio, oferecemos aos professores uma alternativa para ensinar os conceitos básicos de astronomia de uma forma mais realista, correta e motivadora para o aluno.

Objetivos

Propor atividades simples que auxiliam na tarefa de explicar os seguintes fenômenos astronômicos: 1. surgimento do dia e noite; 2. visualização da duração da parte diurna e noturna do dia em função da latitude; devido à inclinação do eixo de rotação da Terra em relação à perpendicular ao seu plano orbital; 3. demonstração sobre como ocorrem as estações do ano; 4. ilustrar a ocorrência dos eclipses solares e lunares; e 5. explicar o surgimento das fases da Lua.

Sugestão de problematização

Temos várias propostas de problematização nesta atividade. Na atividade sobre o dia e a noite e sua duração, em função da faixa etária na qual ela for usada, pode-se pedir aos alunos que exponham como explicam a alternância entre os períodos diurnos e noturnos e se acertarem, então vem o desafio seguinte: mas por que há períodos em que os "dias" são mais curtos do que as "noites"? Claro que antes pode ser perguntado se já perceberam esta diferença. Dependendo da latitude do lugar, por exemplo, locais mais ao sul ou sudeste do Brasil as estações do ano são bem distintas. Neste caso o primeiro passo é ouvir quais explicações os alunos possuem para este fenômeno. Ouvir as explicações "intuitivas, espontâneas ou populares" sempre é muito importante, pois deve-se então questionar sobre a correção das mesmas e gradativamente introduzir a versão correta. Quanto aos eclipses lunares pode-se perguntar por quem já observou um, se a Lua desaparece mesmo, qual a explicação que os alunos fornecem para o fenômeno, além de questioná-los sobre o por quê de não ocorrer um eclipse lunar e outro solar todo mês. Por fim, um fenômeno observável toda noite (e dia), mas de não tão trivial compreensão, ou seja, as fases da lua. Pode-se perguntar quantas fases tem a Lua, qual a duração delas, como explicam este fenômeno, observável toda noite.

Materiais

- 1 bola de isopor de 20 ou 25 cm de diâmetro
- 1 lâmpada de 60 watts
- 3 m de fio paralelo branco de 0,5 mm de diâmetro
- 1 soquete
- 1 plugue macho
- 1 quadrado de madeira de 10 cm x 10 cm x 2 cm (ou similar)
- 1 parafuso para fixar o soquete ao quadrado de madeira
- 1 chave de fenda
- 1 rolo de fita isolante pequeno

- 1 vareta de solda
- 1 estilete ou tesoura
- 1 cartolina preta
- 1 pedaço de papel alumínio de 5 cm x 5 cm

Procedimentos

Atividade 1 – Estações do Ano

Este fenômeno, geralmente explicado em livros tanto de ciências como de geografia do Ensino Fundamental, é fonte de muitas incompreensões e erros (CANALLE et al., 1997, TREVISAN et al., 1997 e BIZZO et al., 1996). O erro mais grave é explicá-lo como sendo devido às variações da distância da Terra ao Sol (no verão a Terra fica mais próxima do Sol e no inverno mais longe). Como é muito comum encontrar nos livros didáticos, alguns estão listados nas referências de Canalle et al., 1997. Esquecem, contudo, aqueles que assim concluem, que esta não deve ser a explicação, porque enquanto é verão num hemisfério é inverno no outro e ambos pertencem ao mesmo planeta, portanto, ambos estão à mesma distância do Sol.

Outras explicações são incorretas e induzem a erros, como, por exemplo, a afirmativa de que "as estações do ano ocorrem devido à órbita elíptica da Terra". Como a órbita à qual é feita a referência, geralmente, é exageradamente elíptica, fica a associação automática: verão/inverno = Terra mais/menos próxima do Sol.

Outra explicação incompleta é a seguinte: "as estações ocorrem devido à inclinação do eixo da Terra e de seu movimento de translação". Apesar de não estar errada a frase, é incompreensível para o aluno, além de não especificar que a inclinação do eixo de rotação da Terra é em relação à perpendicular ao plano da órbita.

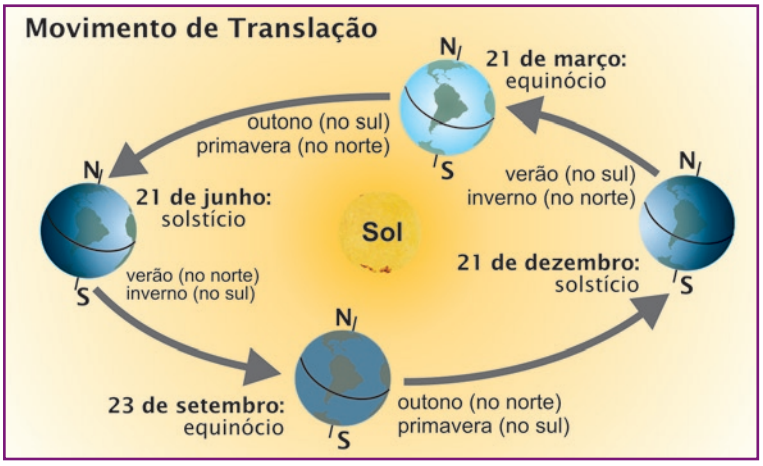
Contudo, existem livros didáticos que esclarecem, corretamente, que as estações do ano não são devidas à maior/menor distância

da Terra ao Sol, mas, infelizmente, "ilustram" estas explicações com desenhos nos quais a órbita da Terra é exageradamente excêntrica ("achatada"), o que induz à conclusão de que verão/inverno estão relacionados com a menor/maior distância da Terra ao Sol. E como as figuras se fixam mais do que as palavras escritas, o aluno fica com a "explicação" errada.

Uma típica imagem usada pelos livros didáticos para auxiliar a explicação das estações do ano é mostrada na Figura 2.26.

Neste tipo de figura, fica muito difícil o aluno ver que ocorre diferença de iluminação nos dois hemisférios da Terra durante parte de sua trajetória e, também, não fica evidente a importância da constância da inclinação do eixo de rotação da Terra para a ocorrência das estações do ano.

Como característica geral, nos livros didáticos inexistem sugestões de demonstrações práticas para este fenômeno, com raras exceções, como, por exemplo, no livro de Beltrame et al., 1996, cujo procedimento não funciona, como explica Canalle et al., 1997.



Sueli Prates (AEB/Programa AEB Escola).

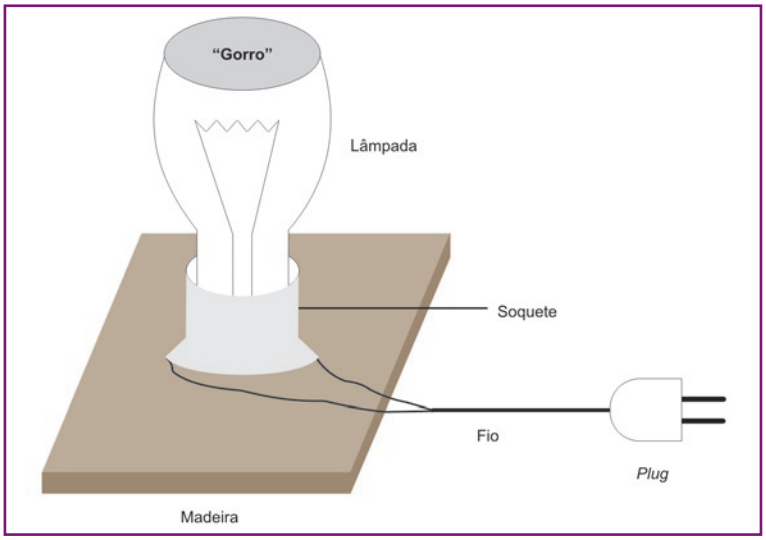
Figura 2.26. Típica figura encontrada em livros didáticos para ilustrar a explicação das estações do ano.

Diante deste quadro caótico de explicações erradas ou de induções a erros, por que não usar um simples experimento, tal qual uma bola de isopor e uma lâmpada para explicar os fenômenos?

É o que sugerimos a seguir.

1. A lâmpada

   Sugerimos usar uma lâmpada de 60 W (127 V ou 220 V, dependendo de onde ela vai ser usada), conectada a um soquete fixo a uma madeira de, por exemplo, 10 cm x 10 cm x 2 cm, com um fio paralelo (nº 14) com cerca de 3 m de comprimento. Sobre a lâmpada deve-se colocar um disco de papel alumínio (um "gorro") com cerca de 5 cm de diâmetro, cuja finalidade será apenas a de evitar que a lâmpada ofusque aqueles que estiverem à sua volta. Veja um esquema na Figura 2.27.



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 2.27. Esquema da montagem da lâmpada no suporte de madeira.

2. A bola de isopor

   Sugerimos usar uma bola de isopor* com 20 cm ou 25 cm de diâmetro, atravessada por um eixo que pode ser uma vareta de pipa, vareta de churrasco, vareta de bambu, ou algo similar e que sirva a este propósito.

   *Na verdade, isopor é o nome de um dos fabricantes. O nome correto é poliestireno expandido.

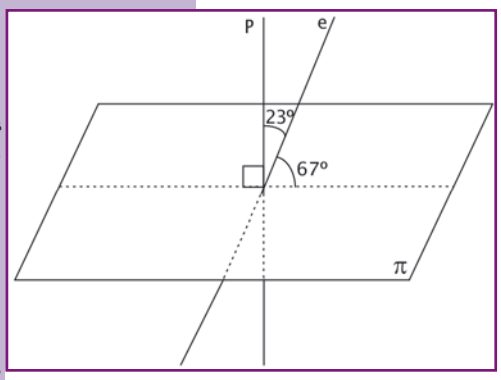
3. O ambiente

Para a realização desta atividade será necessário um ambiente escuro ou pelo menos escurecido, uma mesa sobre a qual apoiar a lâmpada e alguns livros (ou caixa de sapato) para serem colocados sob a lâmpada, de tal forma que o filamento desta fique, aproximadamente, na mesma altura do centro da bola de isopor (que, por sua vez, estará na mão da pessoa que apresentará a atividade).

4. A demonstração

Sugerimos começar a explicação definindo o plano da órbita da Terra, o qual, nas condições em que normalmente se realiza essa demonstração, é o plano paralelo à superfície da mesa sobre a qual está a lâmpada e passando pelo centro do Sol, isto é, da lâmpada que o representa. Em seguida, deve-se mostrar qual é a posição do eixo da Terra quando ele estiver perpendicular ao plano da órbita dela. Pode-se começar exemplificando o movimento de translação fazendo a Terra (bola de isopor) girar ao redor do Sol (lâmpada), num movimento circular, o que é muito próximo da realidade. Esta é uma situação hipotética, pois o referido eixo nunca fica perpendicular ao plano da órbita. Enfatizar, neste caso, que ambos os hemisférios da Terra são igualmente iluminados durante todo o movimento de translação e, portanto, não haveria nenhuma razão para haver diferentes temperaturas (verão e inverno, simultaneamente) nos dois hemisférios.

Perguntando-se aos alunos o que se deveria fazer para termos mais iluminação num hemisfério do que em outro, geralmente surge dentre eles a sugestão: inclinar o eixo da Terra. De fato esta condição é necessária apesar de não ser suficiente para termos, simultaneamente, diferente iluminação (usamos aqui iluminação como sinônimo de temperatura – apesar de não serem a mesma coisa, estão relacionadas) nos dois hemisférios e ocorrer a inversão destas diferenças em intervalos de seis meses. É preciso também que a direção do eixo (para onde "aponta"), uma vez inclinado, seja constante.

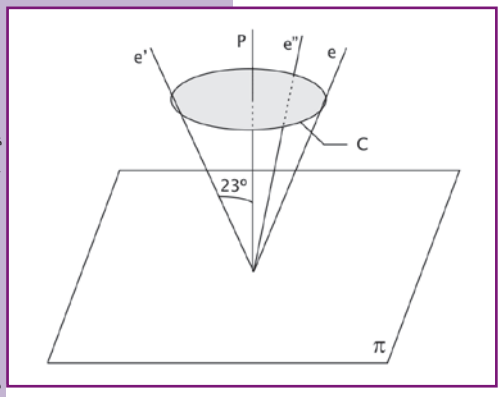


João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 2.28. Esquema da representação da inclinação do eixo da Terra. A reta "P" representa a perpendicular ao plano da órbita da Terra (plano π) e "e" o eixo de rotação da Terra, inclinado de 23º em relação à perpendicular e 67º em relação ao plano π.

Portanto, as razões para termos as estações do ano são duas: 1) constância da inclinação e direção do eixo de rotação da Terra e 2) movimento de translação da Terra ao redor do Sol.

O eixo de rotação da Terra é inclinado do 23º em relação à perpendicular ao plano da órbita (Figura 2.28) e, portanto, de seu complemento (67º) em relação ao plano da órbita. De modo que não se pode dizer (como fazem alguns livros didáticos), que o referido eixo está inclinado de 23º em relação ao plano da órbita, pois, neste caso, ele estaria quase "deitado" sobre o plano da órbita, o que não é verdade.



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

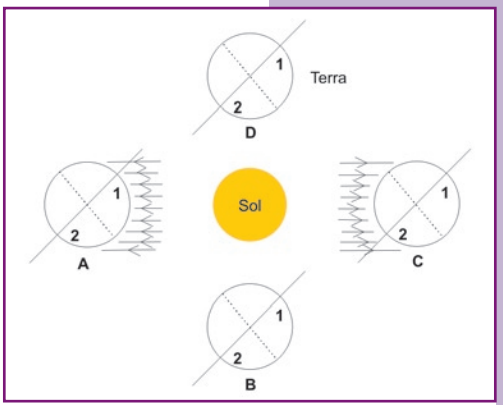
Figura 2.29. O eixo "e", inclinado de 23º em relação à perpendicular, pode apontar para uma direção qualquer (por exemplo e, e', ou e") sobre a superfície cônica descrita pela superfície C.

Entendida a questão do ângulo de inclinação, geralmente surge outra: mas, é inclinado para a direita, para a esquerda, para onde? A pergunta procede, afinal, ele, o eixo, pode estar inclinado de 23º em relação à perpendicular e apontar para qualquer direção em 360º, como mostra a Figura 2.29. Alguns livros didáticos respondem pronta e erradamente: inclinado para a direita. Em astronomia não há sentido em apontar direções como esquerda e direita. Em nossa demonstração é, absolutamente, irrelevante a direção escolhida, mas há uma condição fundamental: uma vez escolhida a direção, que ela não seja alterada durante a translação da Terra (bola de isopor) em torno do Sol (lâmpada), pois é assim que ocorre na realidade. Este eixo é fixo (na verdade não é fixo, mas no tempo de um ano não ocorre nenhuma alteração perceptível).

Então sugerimos: incline o eixo na direção de uma das paredes da sala e permaneça com ele, assim, inclinado durante todo o movimento de translação que fizer com a bola de isopor.

Professores mais metódicos poderão questionar: como determinar a inclinação de 23º em relação à perpendicular ao plano da órbita? Para os objetivos aqui propostos é irrelevante a inclinação exata a ser dada; aliás, recomenda-se até que se exagere um pouco na inclinação para que fique ainda mais facilmente visível a diferença de iluminação entre os dois hemisférios.

Feitos todos esses esclarecimentos, vem a parte mais difícil: transladar a bola ao redor da lâmpada, num movimento circular, sem variar (muito) a inclinação e direção do eixo da Terra. Na Figura 2.30 estão esquematizadas quatro posições sucessivas e diametralmente opostas, para as quais deve-se chamar a atenção dos alunos. Supondo que a demonstração começou na posição A, vê-se que o hemisfério 1 está totalmente iluminado, enquanto o hemisfério 2 fica apenas parcialmente iluminado. Assim sendo, é verão no hemisfério 1 e inverno no hemisfério 2. Isso só pode ocorrer devido à inclinação do eixo da Terra em relação ao plano da órbita. E, sendo constante esta inclinação, enquanto a Terra gira ao redor do Sol, quando ela estiver passando pelo ponto B é facilmente observável, na demonstração proposta (mas não em figuras tal qual a Figura 2.28 ou a Figura 2.30, apresentada a seguir), que ambos os hemisférios agora estão, igualmente, iluminados. Portanto, o hemisfério 1 passou a receber menos luz (passou de verão para outono) e o hemisfério 2 passou a receber mais luz (passou de inverno para primavera).



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 2.30. Figura esquemática, sem proporções, mostrando o Sol e a Terra em 4 posições (A, B, C, D) diametralmente opostas. Na demonstração prática proposta, fica visível a diferença de iluminação nos hemisférios 1 e 2 esquematizados nas posições A e C pela diferença de raios luminosos que atingem cada hemisfério. Nas posições B e D não é possível representar a igualdade de iluminação nos dois hemisférios, mas é perfeitamente visível na demonstração. O eixo de rotação, nesta figura, está exageradamente inclinado. Esta figura não deve ser usada para se entender o fenômeno. Ela deve ser usada apenas para se entender o manuseio da bola de isopor ao redor da lâmpada.

Continuando a Terra em seu movimento de translação e com seu eixo sempre inclinado da mesma maneira, quando ela passar pela posição C, indicada na Figura 2.30, o hemisfério 1, que tinha perdido iluminação ao passar de A para B (quando passou de verão para o outono), perdeu ainda mais iluminação, passando do outono para o inverno. Justamente o contrário aconteceu com o hemisfério 2, que, quando passou de A para B, ficou mais iluminado (passou de inverno para primavera), agora ficou ainda mais iluminado (como pode-se ver, claramente, na demonstração prática, mas não em figuras, tal qual a Figura 2.28 ou a Figura 2.30), passando de primavera para verão. O processo inverso ocorre indo de C para D e retornando à posição inicial A.

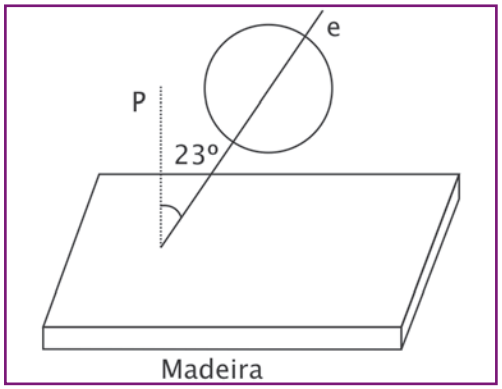
É imprescindível que ao realizar esta experiência os alunos estejam ao redor da mesa sobre a qual está a lâmpada, para que possam ver as diferenças de iluminação entre os hemisférios. Deve-se chamar a atenção para o fato de que, próximo à Linha do Equador – esquematizado na Figura 2.30 linha pontilhada –, quase não há grandes diferenças de iluminação durante todo o movimento de translação da Terra; por isso, lá as estações não são caracterizadas por variação de temperatura.

Também é recomendável que o professor pare a bola nas posições A, B, C e D, e que os alunos caminhem ao redor da mesa para melhor observarem as diferenças de iluminações nos hemisférios 1 e 2 nas posições A e C e a igualdade delas nas posições B e D.

Cuidado: deve-se fixar bem o fio da lâmpada junto ao piso para que não haja acidentes (tropeções), pois o ambiente deve estar pouco iluminado, já que só estará acesa a lâmpada sobre a mesa.

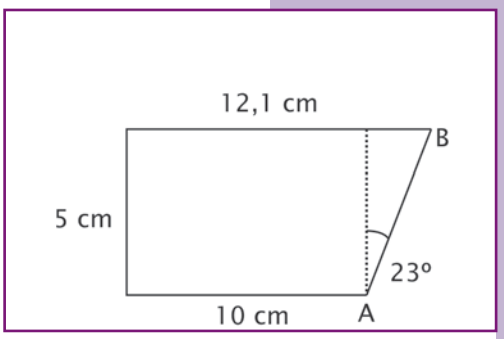
Se o professor não conseguir fazer a translação da bola de isopor mantendo constante a inclinação do seu eixo, sugerimos fixar a vareta do eixo numa base de madeira (Figura 2.31A) e arrastar (sem girar sobre si mesma) essa base de madeira sobre a mesa e ao redor da lâmpada.

Também, pode-se utilizar quatro bolas de isopor, uma em cada posição A, B, C e D. Mas isso, evidentemente, implica quadruplicar custos e trabalho.



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 2.31A. Esquema de como fixar a bola de isopor na madeira (por exemplo, com dimensões de 10 cm x 20 cm x 2cm) para facilitar a demonstração.



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 2.31B. Para fazer o furo na inclinação de 23º, basta recortar um pedaço de papelão com a forma e dimensões mostradas na figura, apoiar o papelão na vertical com o lado de 10 cm apoiado sobre a madeira e bater um prego paralelo ao lado AB do papelão.

Atividade 2 – A duração do dia e da noite

Este fenômeno que atinge a quase todos nós (devemos lembrar que os moradores próximos aos pólos geográficos Norte e Sul não têm o mesmo fenômeno do dia e noite que observam os outros habitantes do planeta), todos os dias, geralmente é explicado na 1ª série do Ensino Fundamental e pode-se usar a montagem apresentada no item anterior para explicá-lo sem maiores dificuldades. Para essa explicação na 1ª série, não é didaticamente aconselhável mencionar a inclinação do eixo de rotação da Terra, por isso pode-se fazê-lo com o eixo na vertical.

Quando o fenômeno das estações do ano for estudado, então, será oportuno explicar que, devido à inclinação do eixo de rotação da Terra, a duração dos dias e das noites varia dependendo da localização do observador sobre a Terra e da época do ano, conforme explicamos na atividade 1.

De posse da montagem anterior, com a bola de isopor fixada na base de madeira (Figura 2.31A), colocada na posição C da Figura 2.30, fica muito fácil explicar, mostrar e, inclusive, "medir"

João Batista Garcia Canalle (Uerj).

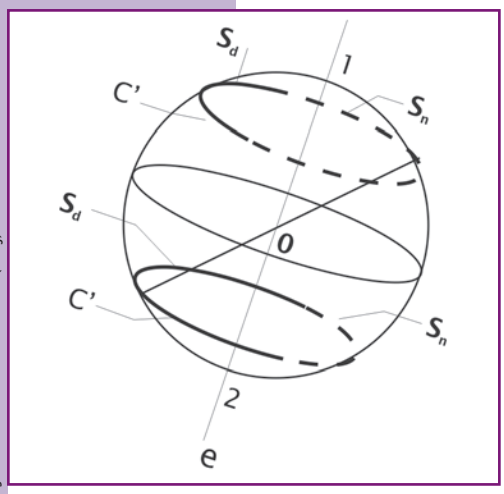


Figura 2.32. Esta figura representa a posição "C" da Figura 2.30. A linha circular C' paralela à Linha do Equador mostra, no hemisfério 1, quando nele é inverno, o período diurno (arco contínuo) S_d e o período noturno (arco tracejado) S_n, e o mesmo no hemisfério 2 quando é verão.

a duração dos dias e das noites em função da latitude e da posição da Terra em seu movimento de translação.

Na Figura 2.32 mostramos, esquematicamente, como é a divisão dia-noite no hemisfério 1, durante o inverno, e no hemisfério 2, durante o verão.

A linha circular paralela ao equador mostra a duração do dia (na parte contínua da linha – S_d). Sugerimos que se desenhe tal curva na bola de isopor e se meça com uma fita métrica o comprimento dos arcos tracejados e contínuos da linha circular paralela à do equador, por exemplo, do hemisfério 1. Seja S_d e S_n o comprimento do arco para a parte diurna e noturna, respectivamente. Sabemos que a soma de S_d e Sn é equivalente a 24 horas e, portanto, S_d é proporcional à duração do dia (T_d) e S_n é proporcional à duração da noite (T_n). Assim, vale a regra de três:

$$\frac{S_d + S_n}{24} = \frac{S_d}{T_d} \Rightarrow T_d = \frac{S_d}{S_d + S_n} 24 \text{ h}$$

e equivalentemente

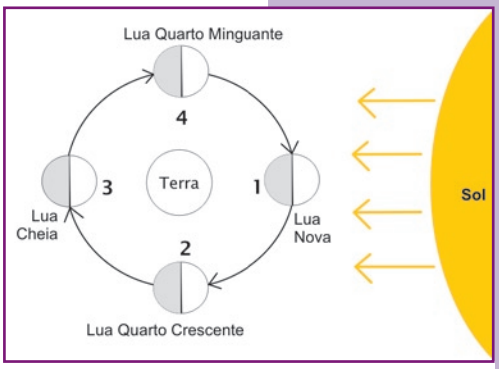
$$T_n = \frac{S_n}{S_n + S_d} 24 \text{ h}$$

Conforme é visível na montagem, a duração do dia e da noite é diferente, porém, complementar, isto é, se o dia dura 13 horas, a noite (naquele mesmo hemisfério e latitude) dura 11 horas e o oposto ocorre no outro hemisfério e na mesma latitude. Na posição C indicada na Figura 2.30, os dias do hemisfério 1 são curtos e as noites longas, enquanto o oposto ocorre com o hemisfério 2. As duas expressões acima, obviamente, são apenas aproximadas. Pode-se observar, também, que aumentando-se a latitude ($\theta \rightarrow 90^0$), o segmento S_d vai diminuindo e S_n vai aumentando, ou seja, quanto

mais próximo do pólo geográfico do hemisfério 1, menor o dia (no inverno) e maior a duração da noite, tal que, bem próximo deste pólo, na posição C (Figura 2.30), o segmento S_d vai a zero (desaparece) e toda a curva C' seria tracejada, indicando noite de 24 horas, isto é, no inverno do hemisfério 1, o Sol fica abaixo do horizonte o dia todo. Na mesma posição C da Figura 2.32, o oposto ocorre para o hemisfério 2 quando muito próximo do pólo geográfico 2, indicando dia de 24 horas. Neste caso, vê-se o Sol à meia noite, no horizonte local. Por outro lado, no equador a duração do dia e da noite é, praticamente, idêntica o ano todo, em quaisquer das posições A, B, C ou D.

Atividade 3 – As fases da Lua

Este também é um fenômeno que causa muita confusão. O principal erro é colocar a Lua girando ao redor da Terra no mesmo plano em que esta gira ao redor do Sol (Figura 2.33). Ao fazer isto, causam-se, obrigatoriamente, dois eclipses por mês lunar (ou mês sinódico – 29,5 dias – que é o intervalo de tempo entre duas fases iguais e consecutivas da Lua), sendo um eclipse lunar e outro solar. Uma figura típica encontrada nos livros didáticos está esquematizada na Figura 2.33.



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

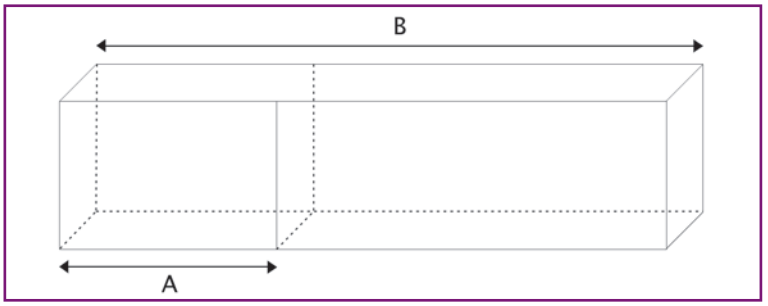
Figura 2.33. Típica figura encontrada em livros didáticos para explicar as fases da Lua.

Depreende-se do que está esquematizado na Figura 2.33 que, toda vez que a Lua estiver na posição 1, haverá eclipse solar e, toda vez que passar pela posição 3, haverá eclipse lunar. Como não observamos dois eclipses a cada 29,5 dias, algo deve estar errado com essa figura. Explicaremos os eclipses mais adiante.

A bola de isopor usada nas atividades anteriores, representando a Terra, agora representará a Lua. Sugerimos fixar (espetar) um quadrado de cartolina preta (por exemplo, 5 cm x 5 cm) sobre a superfície da bola de isopor, próximo ao equador (ou seja, a cartolina ficará

tangente a algum ponto próximo ao equador lunar). Este quadrado indicará o "São Jorge", ou seja, a face que está sempre voltada para nós. O esquema utilizado para a explicação, que se segue, das fases da Lua encontra-se na Figura 2.35.

O Sol será representado pela lâmpada, coberta com um tubo de papel alumínio (Figura 2.34) para direcionar, horizontalmente, o feixe de luz sobre a Lua. Para fazer isso, a lâmpada será segurada por um aluno (aluno S, Figura 2.35), que apontará seu feixe sempre para a Lua.



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 2.34. No segmento A está representada a embalagem comercial da lâmpada (um paralelogramo sem fundo ou tampa feito de papelão). Ao redor desta embalagem colocamos uma folha de papel alumínio com comprimento de 40 cm, formando o tubo de papel alumínio indicado pelo segmento B.

A Terra será representada pela própria cabeça de um aluno (aluno T, Figura 2.35), que fará as observações. A Lua será carregada ao redor da Terra por outro aluno (aluno L, Figura 2.35), mas de tal forma que o quadrado preto ("São Jorge") esteja sempre voltado para a Terra. O aluno Terra (T) apenas girará sobre si mesmo sem se transladar.

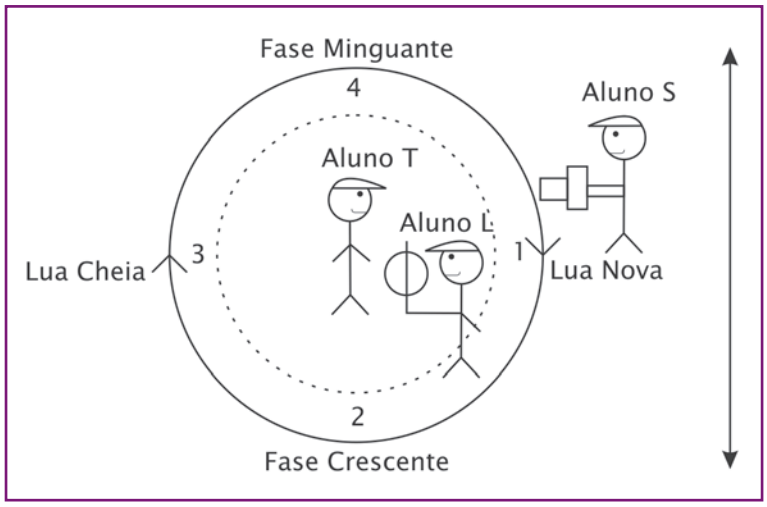
Com esta montagem, sugerimos começar a atividade reproduzindo o erro do livro didático, isto é, faça a Lua girar em torno da Terra num plano paralelo ao chão e passando pelo centro da Terra (cabeça do aluno). Estando o Sol no mesmo plano da Terra e da Lua, quando a Lua estiver na posição 1 das Figuras 2.33 ou 2.35, haverá eclipse solar, e quando estiver na posição 3 das mesmas (Figura 2.33 ou 2.35), haverá eclipse lunar. E isso se repetiria a cada mês sinódico.

Logo, algo está errado. Como resolver o problema? Existem duas soluções.

A primeira é deslocar o plano da órbita da Lua para cima ou para baixo da cabeça do aluno, mas isso é irreal, pois, o plano da órbita da Lua deve passar pelo centro da Terra. Eliminada esta solução, a outra, que é a correta e evita os dois eclipses mensais, é inclinar o plano da órbita da Lua. Inclinar o plano da órbita da Lua significa que, partindo a Lua da posição 1, ele deve estar abaixo da linha definida pela direção Terra-Sol, chegará à posição 3 acima do feixe da sombra da cabeça do aluno que representa a Terra (não esquecendo que o plano da órbita da Lua passa pelo centro da Terra).

Com isto evitam-se os dois eclipses mensais e esta é a situação real, ou seja, a Lua não gira ao redor da Terra no mesmo plano que esta gira ao redor do Sol. A inclinação entre os dois planos é de aproximadamente 5º.

Observe, contudo, que os pontos 2 e 4 da Figura 2.35 pertencem tanto ao plano da órbita da Lua quanto ao plano da órbita da Terra. Este fato será muito importante quando se estudar os eclipses.



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 2.35. Esquema do Sistema Sol-Terra-Lua.

No esquema mostrado na Figura 2.35, o aluno que segura a lâmpada deve ficar a uns 2 ou 3 metros da Terra, apontando seu feixe de luz sempre para a Lua. O aluno que carrega a Lua deve girar ao redor da Terra a cerca de 1 m ou 1,5 m, mas, transladando a Lua num plano tal que na posição 1 a Lua passe abaixo da linha Terra-Sol, nas posições 2 e 4 cruze o plano da órbita da Terra ao redor do Sol, isto é, fica na mesma altura dos olhos do aluno Terra; e na posição 3 passe acima da linha Terra-Sol.

Observação: No esquema as linhas circulares são vistas de cima e os bonecos representam alunos caminhando sobre o círculo pontilhado e o círculo contínuo foi usado para marcar as fases crescentes, minguantes, cheia e nova.

Quando se evita o problema dos eclipses, define-se, simultaneamente, a inclinação do plano da órbita da Lua em relação ao plano de órbita da Terra. Na posição 1 a Lua da Figura 2.35 está abaixo da linha Terra-Sol; na posição 2 está na mesma altura da cabeça do aluno Terra (seria quando ela estaria cruzando o plano da órbita da Terra); e na posição 3 ela está passando acima da linha Terra-Sol; na posição 4 é a mesma situação da posição 2 e recomeça o ciclo na posição 1.

Lua nova

É aquela que não se vê, pois ela está na posição 1 (abaixo da linha Terra-Sol), logo, o lado voltado para a Terra não está iluminado, além de estarmos olhando na direção do Sol, que nos ofusca a visão. Nesta situação dizemos que a Lua nasce junto com o Sol e se põe junto com ele, mas, na noite seguinte (o aluno que segura a Lua deve se deslocar cerca de 1 ou 2 passos na direção do ponto 2), ela vai se pôr um pouco depois do Sol. Assim, logo que o Sol se põe, vemos a Lua bem próximo do horizonte oeste, mas, como ela está quase na mesma direção do Sol, vemos apenas uma estreita borda iluminada (que lembra uma banana).

Nesta situação já devemos dizer que a Lua está no seu período crescente ou se preferirem: fase (= aparência) crescente, conforme

define Mourão (1987) em seu Dicionário Enciclopédico de Astronomia e Astronáutica. A reflexão da luz da lâmpada sobre a bola de isopor imita muito bem o que se vê no céu, mas só para o(s) aluno(s) que representa(m) a Terra. Os outros alunos vêem situações completamente diferentes dependendo de onde estiverem, por isso é muito importante repetir a atividade com todos os alunos (em grupos) ocupando o lugar da Terra.

Lua quarto crescente

Na medida em que o aluno que segura a bola de isopor se desloca para o ponto 2, vai se vendo uma porção maior da Lua iluminada, pois, afinal, estamos na fase crescente. Quando a Lua chega na posição 2, os alunos que representam a Terra verão, exatamente, um quarto da superfície da Lua iluminada; por isso, nessa noite em especial, a Lua é chamada de Lua do quarto crescente. Na noite seguinte ela já não tem mais a mesma aparência, por isso, não devemos mais chamá-la de quarto crescente, afinal mais que um quarto de sua superfície é visível. Entretanto, ela continua no seu período crescente ou fase crescente.

Lua cheia

É o nome dado à Lua quando ela está na posição 3. Conforme definido anteriormente, ela está passando acima da linha Terra-Sol. Todo o disco iluminado é visível da Terra. Note também que o Sol se pôs a oeste e a Lua está "nascendo" a leste, portanto a Terra está entre ambos. A Lua cheia parece maior quando está nascendo do que quando está sobre nossas cabeças, mas isso é uma ilusão: basta olhá-la por um tubo estreito ou por um simples buraquinho através da nossa mão quando a fechamos, de modo a não vermos o relevo do horizonte, que veremos a Lua do mesmo tamanho que quando ela passa sobre nossas cabeças. Com a Lua cheia termina a fase crescente. Na noite seguinte a Lua já não é mais cheia e começa, então, o período ou fase da lua minguante.

Lua quarto minguante

Cerca de sete noites após a lua cheia veremos novamente um quarto da superfície da Lua iluminada; por isso, essa noite, em particular, é chamada de Lua quarto minguante, quando então ela estará passando pelo ponto 4. Note que as noites seguintes não devem ser chamadas de Lua quarto minguante, pois a palavra "quarto" refere-se a um quarto da superfície iluminada e visível da Terra, o que ocorre só em duas noites particulares, sendo uma na fase crescente e outra na fase minguante.

Atividade 4 – A Lua gira ou não gira sobre si?

Muitas pessoas respondem, prontamente, a esta questão: "não gira"! E dizem mais: "pois sempre vemos a mesma face na qual está o "São Jorge". Nessa montagem é fácil demonstrar que a Lua gira sobre ela mesma.

O aluno que segura o Sol começou esta atividade não vendo o "São Jorge", quando a Lua estava na posição 1, pois o quadrado negro que está representando o "São Jorge" estava voltado para a Terra. Mas, quando a lua estava na posição 3, o aluno que segura a lâmpada viu o "São Jorge"; logo, a Lua girou sobre ela mesma, senão, isso não seria possível. Todos os outros alunos que estiverem observando a atividade confirmarão o que disse o aluno Sol, pois eles também verão as duas faces da Lua.

Claro que o aluno Terra não está muito convencido de que a Lua gira sobre ela, afinal ele sempre vê o "São Jorge". Podemos convencê-lo de que a Lua gira sobre si refazendo a demonstração, mas com a Lua, de fato, não girando sobre ela.

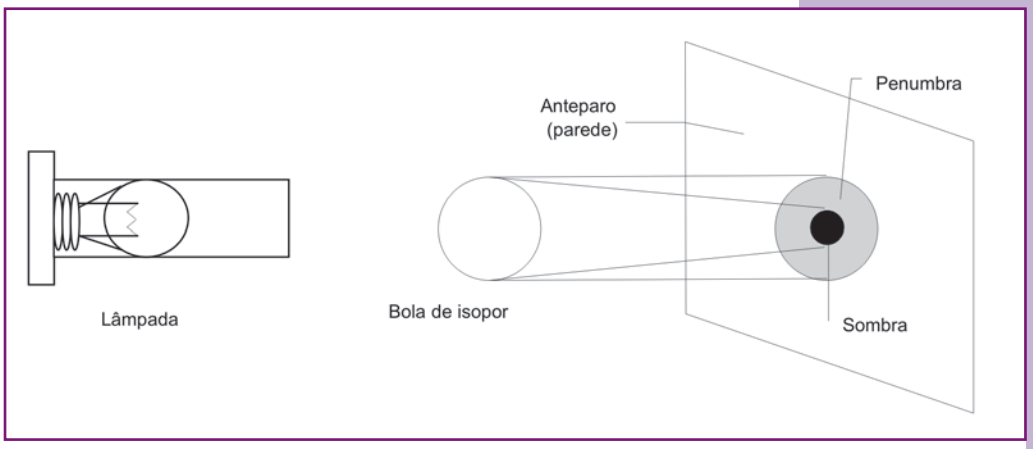
Então, começando com a Lua na posição 1, com o "São Jorge" virado para a Terra e, portanto, virado também para a posição 3 e virado, digamos, para a parede que está atrás da posição 3. O aluno que transporta a Lua, deve, então, fazer a Lua girar ao redor da Terra, mas com o "São Jorge" sempre voltado para a mesma parede que está atrás da posição 3. Feito isso, o aluno-Sol e todos

aqueles que estavam ao lado dele sempre observam a mesma face da Lua e garantem que ela não girou. O aluno-Terra, por outro lado, acredita que a Lua não girou sobre ela, mas agora ele viu as duas faces da Lua, ou seja, agora que ficou evidente que a Lua não girou, ele viu as duas faces. Porém, isso não é a realidade. Então, a Lua realmente gira sobre ela. Esta atividade convence a muitos de que a Lua gira sobre si mesma enquanto gira ao redor da Terra, mas não convence a todos. De fato, o movimento de rotação da Lua ocorre no mesmo tempo em que ela gira ao redor da Terra. Por isso, vemos sempre a mesma face, isto é, o mesmo "São Jorge".

Atividade 5 – Os eclipses solares e lunares

Antes de falar em eclipse é preciso definir e entender o que é sombra e penumbra.

Usando a lâmpada com o tubo de papel alumínio, projete a sombra da bola de isopor na parede. Pode-se ver que há duas regiões distintas de sombra: uma bem escura, no centro, chamada de "sombra" e, ao redor desta, uma região menos escura chamada "penumbra", conforme ilustra a Figura 2.36.



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 2.36. Esquema para visualizar a sombra e a penumbra da bola de isopor projetada sobre a parede.

Encostando a bola de isopor na parede, vê-se apenas a sombra, e afastando-se a bola da parede, começa a diminuir o tamanho da sombra e a aparecer a penumbra. A Terra também projeta

uma sombra e uma penumbra. Quando a Lua atravessa apenas a região da penumbra da Terra, dizemos que é um eclipse lunar penumbral, e quando a Lua também atravessa a sombra da Terra, temos o eclipse lunar propriamente, sendo que no penumbral a Lua continua visível, porém ligeiramente escurecida, e no lunar propriamente ela fica visível, mas bem avermelhada. Em ambos os casos pode-se ter eclipse parcial ou total da Lua. Claro que, se a Lua está atravessando a sombra (ou penumbra) da Terra, a Lua está na fase cheia ou muito próxima dela (antes ou depois).

O eclipse solar pode ser parcial, total ou anular (quando a Lua passa, exatamente, na frente do Sol, mas, por estar mais distante da Terra do que em outras circunstâncias, não conseguiu cobrir o disco solar completamente). Se a Lua está entre a Terra e o Sol, é porque é uma lua nova.

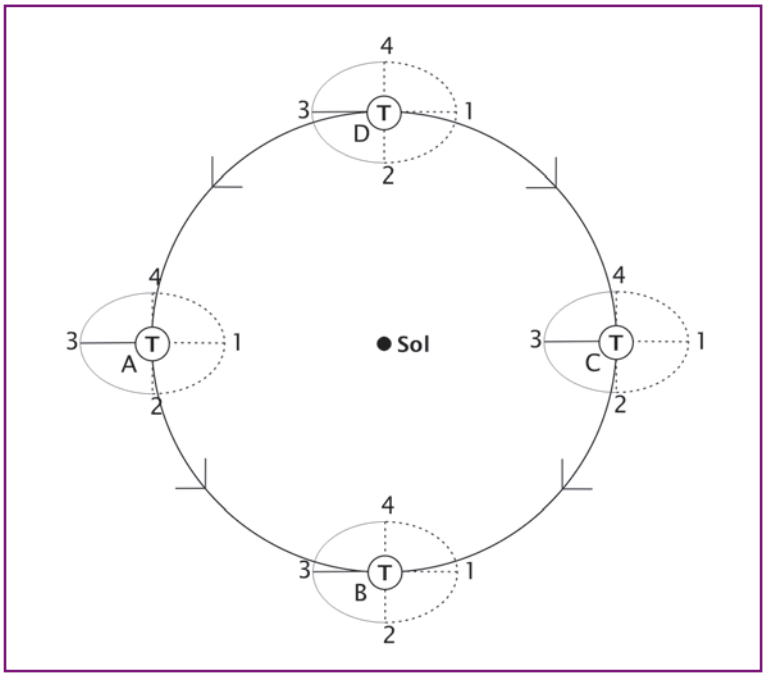
O experimento com a bola de isopor não permite ver os eclipses em todas as suas particularidades devido às desproporções entre os volumes da bola de isopor e da Terra e as desproporções entre as distâncias Terra-Lua e Terra-Sol. Contudo, permite simular suas ocorrências, tanto os lunares quanto os solares.

Na Atividade 3, Fases da Lua, a Terra não tinha translação. A Lua passava pela posição 1 (Figura 2.35) abaixo do plano da órbita da Terra (definido como o plano paralelo ao chão e passando pelo centro da cabeça do aluno Terra), cruzava o plano da órbita da Terra na posição 2 (Figura 2.35), passava pela posição 3 (Figura 2.35) acima do plano da órbita da Terra, passava pela posição 4 (Figura 2.35) cruzando de novo o plano da órbita da Terra, e recomeçava o ciclo pela posição 1 abaixo da órbita da Terra.

O plano de translação da Lua ao redor da Terra não muda enquanto esta gira ao redor do Sol. Para simular os eclipses, o aluno Terra descrito na Atividade 1, agora, deverá transladar lentamente ao redor do Sol, que continuará apontando seu feixe de luz para a Lua. Na Figura 2.37 esquematizamos essa atividade. Conforme explicado na Atividade 1, Fases da Lua, a inclinação entre

os planos das órbitas da Lua ao redor da Terra e desta ao redor do Sol é de 5º, o que evita os dois eclipses mensais.

Atenção! A órbita da Lua não é fechada como desenhada. O desenho atende a outros propósitos explicados no texto. A linha 2-4 sempre pertence aos dois planos (órbita da Lua ao redor da Terra e órbita da Terra ao redor do Sol), simultaneamente. O ponto 1 sempre está abaixo do plano da órbita da Terra e o ponto 3 sempre acima do mesmo plano. A região pontilhada da órbita da Lua, mostra a parte da órbita que está abaixo do plano da órbita da Terra, e a parte contínua da órbita da Lua mostra a parte da órbita que está acima do plano da órbita da Terra.



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 2.37. Esquema da Terra girando ao redor do Sol e da Lua girando ao redor da Terra em posições A, B, C, e D.

Toda a explicação das fases da Lua ocorreu com a Terra no ponto A da Figura 2.37. Note que nesta Figura 2.37 o ponto 1 (semicírculo tracejado entre os pontos 4, 1 e 2) sempre está abaixo do plano da órbita da Terra e o ponto 3 está acima do mesmo plano,

enquanto o segmento que liga os pontos 2 e 4 sempre pertencem a ambos os planos da órbita da Lua e da Terra, ou seja, a órbita da Lua não muda com a translação da Terra. Note que nas posições A e C nunca ocorrem eclipses; contudo, nas posições B e D eles podem ocorrer, pois a Lua pode estar passando pelas posições 4 ou 2 e, portanto, cruzando a linha Terra-Sol. Quando a Lua passar pelas posições B4 ou D2 é Lua nova e um eclipse solar pode ocorrer, quando ela passar por B2 ou D4 é Lua cheia e eclipses lunares podem ocorrer. O aluno que transporta a Lua (bola de isopor) deve procurar manter sempre a mesma trajetória para a bola de isopor, independentemente do movimento da Terra.

DESAFIOS

PARTE I

João Batista Garcia Canalle (Uerj).

1. Você já brincou num "carrossel" cujas cadeirinhas viajam a 1.670 km por hora? Não? Pois os moradores que vivem próximos à Linha do Equador já! Calcule a velocidade de um ponto da superfície da Terra (próximo do Equador) devido à rotação da própria Terra. Dados: raio equatorial da Terra: 6.378 km.

   Resposta: Velocidade = 1.668,91 km/h

   Achou muito? Então calcule a velocidade (em quilômetros por hora) da Terra em torno do Sol. Dados: distância Terra-Sol: 149.500.000 km.

   Resposta: Velocidade = 107.102,44 km/h

2. Determine você mesmo a massa do Sol; para tanto, basta usar a equação abaixo:

$$M_S = \frac{4\pi^2}{G} x \frac{D^3}{T^2}$$

   na qual G é a constante de gravitação universal e vale $6{,}67 \times 10^{-11}$ N.m^2/kg^2. D é a distância média de qualquer planeta ao Sol e T o período de translação deste mesmo planeta. Cuidado: Se usar G com as unidades dadas, então D precisa estar em metros e T em segundos.

   Resposta: $M_{Sol} \cong 1{,}96 \times 10^{30}$ kg

Dica! Esta fórmula vale também para determinar a massa de qualquer planeta, desde que ele tenha um satélite com período (T) e distância satélite-planeta (D) conhecida.

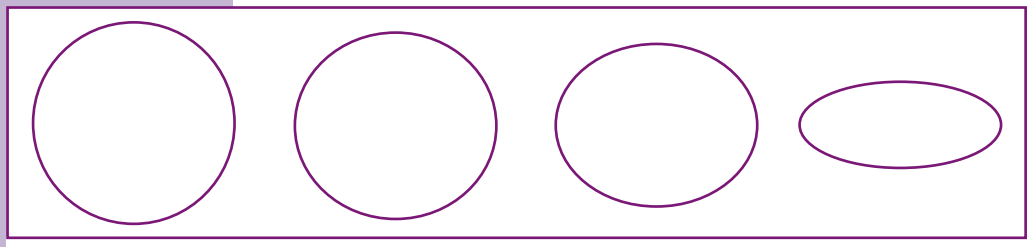
PARTE II

Questões de várias edições da Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA). As respostas estão no sítio da OBA: www.oba.org.br/.

1. (IV OBA, 2001 – 5º ao 9º ano). Você sabe que toda vez que faz aniversário é porque se passou mais um ano para você, certo? Isto significa que o planeta Terra deu mais uma volta ao redor do Sol desde o seu último aniversário. Muito bem, esperamos que você já tenha estudado a forma do movimento da Terra ao redor do Sol. Uma das figuras abaixo é a que melhor representa o movimento da Terra ao redor do Sol.

   a) Pinte (de qualquer cor) na Figura 2.38 o desenho que, na sua opinião, melhor representa o movimento da Terra ao redor do Sol.

   b) Na figura que você escolher no item (a) desenhe o Sol (basta fazer um ponto) no local que melhor representa o lugar que ele deve ocupar.



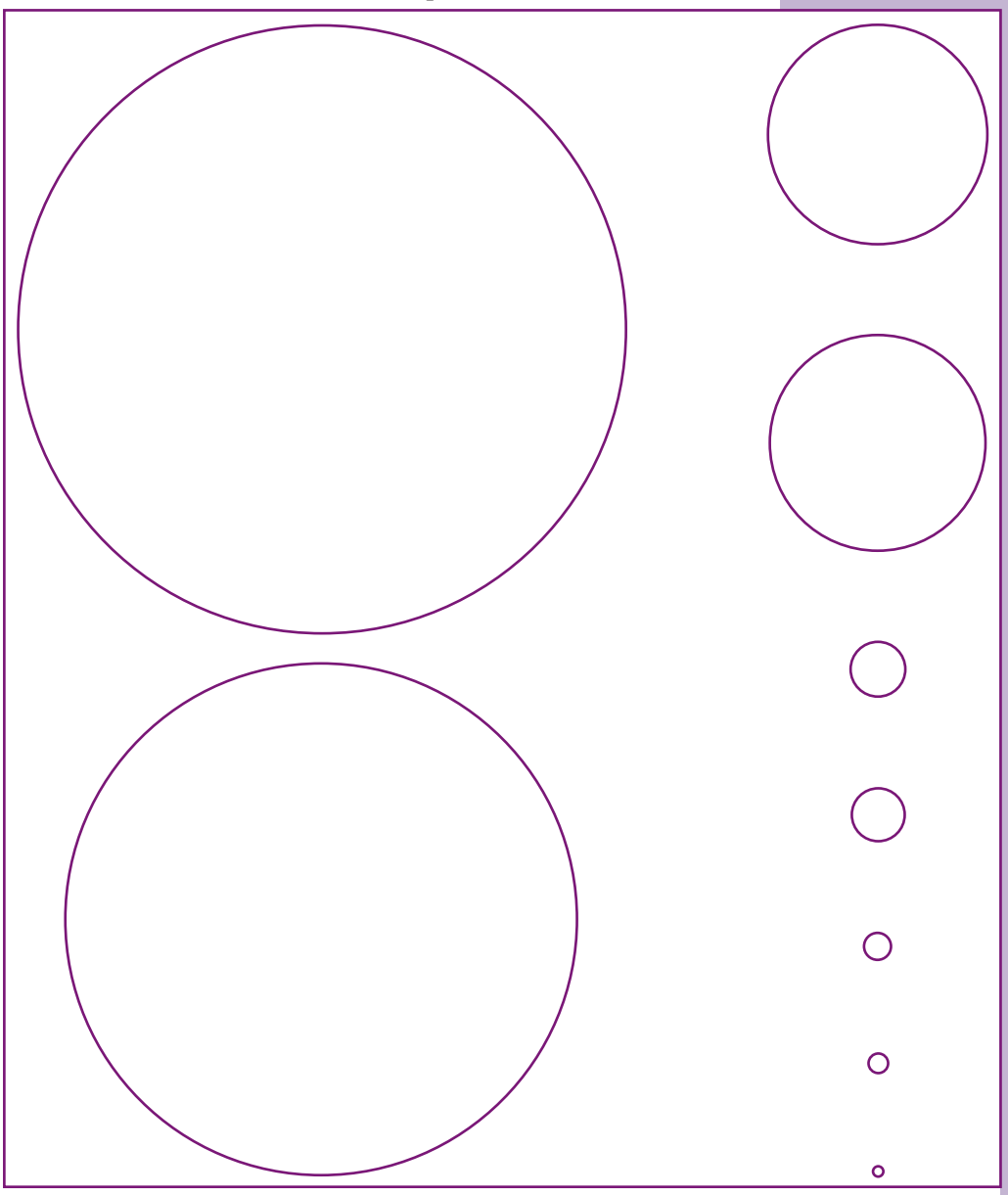
Acervo OBA.

Figura 2.38.

2. (IV OBA, 2001 – 5º ao 9º ano). A seguir foram desenhados, na mesma escala, todos os planetas na ordem decrescente de tamanho para você ver que 2 são gigantes, 2 são grandes, 2 são pequenos e 3 são pequeninos.

Escreva dentro dos planetas (ou ao lado deles) o nome de cada um. Cada nome que você acertar vale 0,1 ponto, mas, se você acertar o nome do maior planeta, ganha 0,2 pontos.

Nota: Em 2001, Plutão ainda era planeta.



Acervo OBA.

Figura 2.39.

3. (VI OBA, 2003 – Ensino Médio). Durante o período de máxima atividade solar, o Sol ejeta grandes quantidades de massa para o meio interplanetário (claro que a perda destas grandes quantidades não afetam a massa total do Sol em termos de ordem de grandeza). Esta matéria é proveniente da parte mais externa da atmosfera, a coroa, e representa uma fração muito pequena da atmosfera solar. Às vezes, estas bolhas de matérias são arremessadas em nossa direção, causando grandes danos quando estas partículas e o campo magnético que vem junto alcançam a Terra. Entre os distúrbios causados nas proximidades e na superfície da Terra, podemos citar interferência nas comunicações de longa distância, panes em satélites de comunicação, queima de transformadores, e confusão nos sistemas de navegação, sem mencionar doses letais de radiação para astronautas fora da estação espacial. A radiação emitida simultaneamente com a ejeção da matéria, como se sabe, atinge a Terra em apenas 8 minutos. As partículas, porém, demoram mais tempo por viajarem com uma velocidade bem menor do que a da luz.

   Pergunta: Uma vez que uma ejeção de massa seja observada em um telescópio, qual o tempo disponível para que as precauções necessárias sejam tomadas pelas autoridades para minimizar os danos mencionados acima, supondo que as partículas viajam com velocidade de 2.000 km/s? Considere que a trajetória das partículas até a Terra é uma linha reta (na verdade a trajetória é uma espiral, mas, para partículas bem rápidas, uma trajetória retilínea é uma boa aproximação).

   Dado: distância Terra-Sol = 150.000.000 km.

SALA DE PESQUISA

Artigos/Livros

FARMER, G.; HAMBLIN, D. J. ***First on the Moon.*** London: Michael Joseph, 1970, 434 p.

MEDAWAR, J.; PYKE, D. **O presente de Hitler**. São Paulo: Ed. Record, 2003, 303 p.

SAGAN, C. **Pálido ponto azul**: o futuro do homem no espaço. São Paulo: Companhia das Letras, 1996, 480 p.

Uso do Espaço Cósmico, inclusive a Lua e demais corpos celestes. Disponível em: http://www.aeb.gov.br/area/PDF/DecPrincJuridico.pdf/. Acesso em: 28 jan. 2009.

Obras de Júlio Verne

A Volta ao Mundo em 80 Dias

Cinco Semanas em um Balão

Vinte Mil Léguas Submarinas

Viagem ao Centro da Terra

Da Terra à Lua

Viagem ao Redor da Lua

Obras de Herbert George Wells

A Máquina do Tempo

O Homem Invisível

A Guerra dos Mundos

Guerra Aérea

Sítios

Planetários – http://www.planetarios.org.br/

Sky&Telescope – http://www.skytelescope.com/

Astronomy Picture of the Day –
http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/astropix.html/

Heavens Above – http://www.heavens-above.com/

Cartas Celestes –
http://www.stargazing.net/astropc/pindex.html/

Endereços de sítios sobre o Sol

http://homepage.mac.com/mrlaurie/btcfolder/astro2002 we-bpages/Period%204/spots%20and%20flares.html/

http://astro.if.ufrgs.br/esol/esol.htm/ (português)

http://www.spaceweather.com/

http://solarscience.msfc.nasa.gov/

http://www.lmsal.com/YPOP/Spotlight/Tour/index.html/

http://www.lmsal.com/sxt/html2/list.html/

http://ousrvr2.oulu.fi/~spaceweb/textbook/cycle.html/

http://umbra.nascom.nasa.gov/images/latest.html/

http://www.hao.ucar.edu/Public/education/slides/slides.html/

http://www.dxlc.com/solar/solar_links.html/

http://www.astro.ucla.edu/~obs/150_link.html/

http://www.windows.ucar.edu/openhouse/sun.html/

http://hesperia.gsfc.nasa.gov/sftheory/flare.htm/

http://solar.physics.montana.edu/YPOP/Classroom/index.html/

Filmes

A Guerra dos Mundos

A Máquina do Tempo

A Volta ao Mundo em 80 Dias

Da Terra à Lua

Guerra Aérea

O Homem Invisível

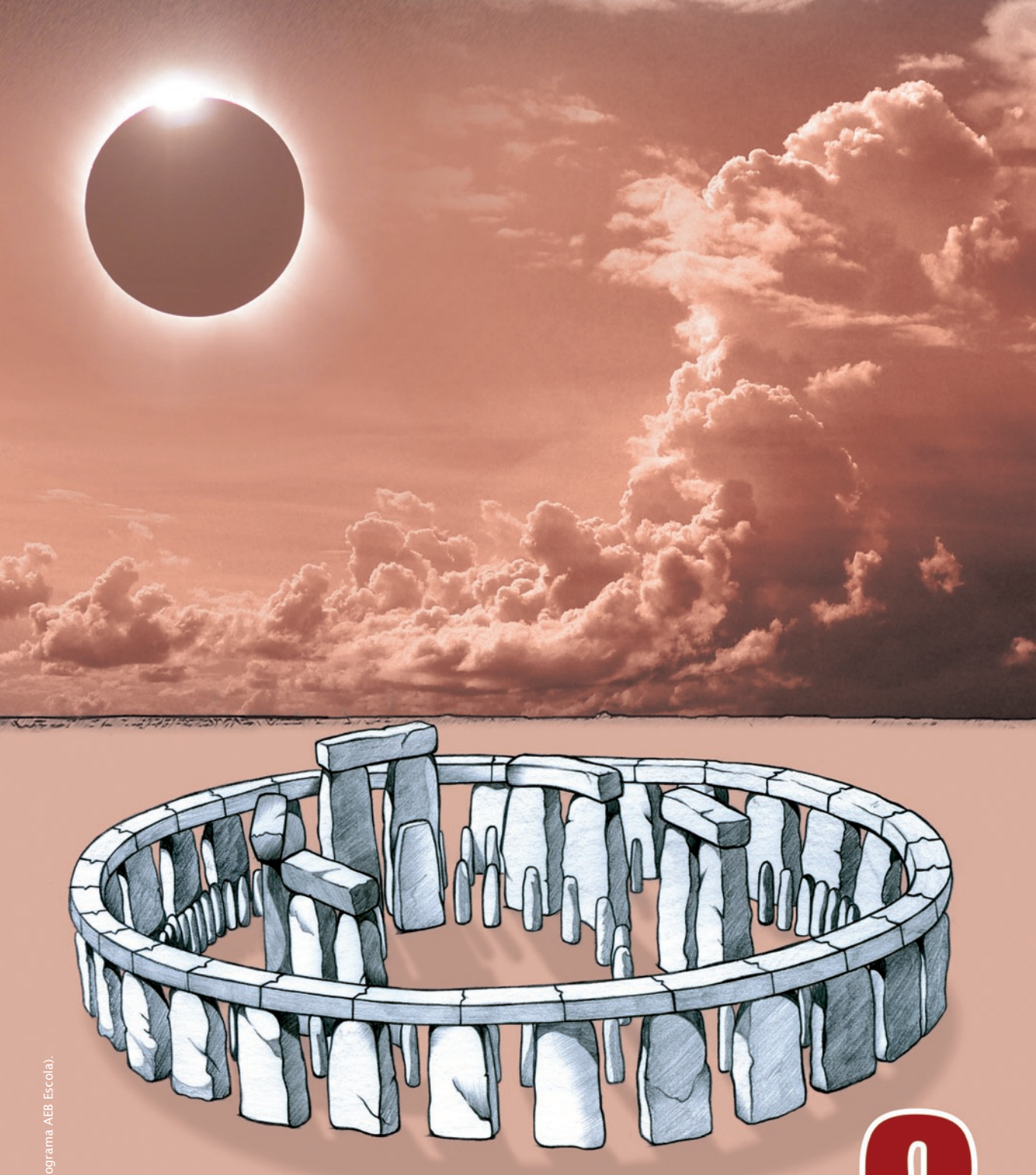
O Planeta Vermelho

Viagem ao Centro da Terra (1959)

O Núcleo – Missão ao Centro da Terra (2003)

Vinte Mil Léguas Submarinas

Documentário: Dias que Abalaram o Mundo – vol. 2 (Hiroshima, Primeiro Teste Nuclear, Acidente em Chernobyl)



Rogério Castro (AEB/Programa AEB Escola).

capítulo 3

OBSERVADORES NO TERCEIRO PLANETA

Salvador Nogueira

Durante a maior parte de sua existência, a prática da astronomia dependeu basicamente de visão aguçada e alta capacidade de abstração matemática – e só. No entanto, o fato de que as observações astronômicas feitas até o século 17 foram produzidas todas com a vista desarmada não significa que a "mãe" de todas as ciências não tenha sido uma fonte de inspiração tecnológica. Na verdade, mesmo na pré-história a astronomia contou com o uso de instrumentos.

O primeiro e mais rudimentar deles parece ter sido a carta estelar. Trata-se basicamente de um mapa do céu, repositório de conhecimentos que os antigos conseguiram apreender a partir das observações a olho nu. Os registros mais confiáveis das primeiras cartas celestes vêm de depois da invenção da escrita, mas alguns pesquisadores suspeitam que elas possam ter sido criadas bem antes disso. Não há dúvida de que, quanto mais voltamos no tempo, mais nebuloso fica o cenário.

Por exemplo: há quem diga que uma possível carta estelar pré-histórica vem da famosa caverna de Lascaux, na França. O local abriga algumas das pinturas **rupestres** mais antigas conhecidas. Lá, em meio a muitos desenhos de animais de caça, existem representações feitas cerca de 17 mil anos atrás que os estudiosos julgam ser do conjunto de estrelas hoje conhecido como Plêiades.

Claro, em comparação com a existência do ser humano (que, em sua forma atual, como *Homo sapiens*, existe há uns 170 mil anos), isso ainda é muito recente. É difícil acreditar que os homens

Rupestre: inscrito ou desenhado na rocha.

tenham passado 90% de sua existência sem notar o céu. Supõe-se então que existam registros astronômicos que antecedam os achados de Lascaux.

É nesse tipo de suposição que se baseiam as investigações de Michael Rappenglück, arqueoastrônomo do Instituto para Estudos Interdisciplinares, localizado na Baviera, Alemanha. Embora muitos pesquisadores da área ainda achem cedo para dizer que o pesquisador está na trilha certa, é fato que ele conseguiu evidências de que uma lasca de presa de mamute trabalhada por humanos pré-históricos e encontrada numa caverna alemã em 1979 pode ser a mais antiga carta estelar já vista, 15 mil anos mais antiga que a descoberta de Lascaux, ou seja, com 32 mil anos de idade.

Arqueoastronomia: ciência que estuda os métodos e conhecimentos astronômicos de culturas agrárias de um passado remoto.

As conclusões do pesquisador, apresentadas pela primeira vez em 2003 e debatidas fortemente nos círculos da **arqueoastronomia** desde então, são um bom exemplo de, por um lado, como é difícil interpretar artefatos antigos e, por outro, como os conhecimentos astronômicos dos antigos poderiam ter atingido um alto grau de sofisticação, do qual quase nada sabemos. Ainda assim, vale a pena prestar atenção a esse tipo de pesquisa, que já recebeu divulgação até mesmo da mais prestigiosa revista científica do planeta, a britânica *Nature*.

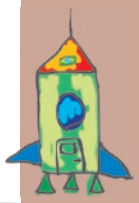
A tábua apresenta, de um lado, uma estranha figura de um homem. No verso, 87 marcações. Para Rappenglück, o homem na verdade é uma representação do que seria uma versão antiga da constelação de Órion, consagrada pela mitologia grega séculos depois. Mas, para chegar a essa conclusão, o alemão teve de recorrer à computação. Com o auxílio de um *software* especial, o arqueoastrônomo conseguiu visualizar como as estrelas da constelação estavam cerca de 32 mil anos atrás. (Como as estrelas estão orbitando ao redor do centro da Via Láctea em velocidades e órbitas diferentes, ao longo de muito tempo suas posições relativas no céu, vistas da Terra, se modificam; isso é imperceptível na escala de vida humana, mas passa a ser representativo quando falamos de períodos de milhares de anos.)

Depois dessa pequena "cirurgia celeste", as coisas começaram a se encaixar. Mas o pesquisador foi ainda mais longe e propôs

que a tábua, mais do que meramente um trabalho de cartografia celeste, servia a um princípio prático: instruir mulheres sobre períodos mais adequados para uma gravidez.

O alemão parte do princípio de que os antigos já sabiam fazer uma conta parecida com a usada hoje por muitos médicos para calcular quando uma gestação chegará a termo, a chamada "regra de Nägele". Ocorre que da caverna de Geissenklösterle, onde foi encontrada a tábua, a estrela mais brilhante de Órion, Betelgeuse, é visível por cerca de três meses durante o ano, número aproximadamente igual a 87 dias – para 87 marcações no verso do artefato.

A regra de Nägele determina que um nascimento pode ser estimado ao se subtrair três meses desde o primeiro dia da última menstruação e então se somar um ano e uma semana.



Rappenglück acredita que a barra servia como guia para que se evitasse uma gravidez que fosse ser terminada durante períodos de migração entre o abrigo de verão e o abrigo de inverno daquele agrupamento humano. Uma "tabelinha" das mais sofisticadas, por assim dizer.

Há muitas suposições na proposição do arqueoastrônomo alemão, o que deixa muitas dúvidas na cabeça de seus colegas acadêmicos. Mas o mais interessante de tudo é que a descoberta é uma excelente representação do que o céu significava de mais importante na pré-história: a única referência realmente confiável para a marcação do tempo.

Desse ponto em diante, não tardou para que os humanos começassem a erigir grandes obras que servissem, possivelmente, como observatórios astronômicos. O exemplo mais famoso é o conjunto de pedras conhecido como Stonehenge, na Inglaterra. Trata-se de um monumento construído entre 5.000 e 4.000 anos atrás, composto por vários arranjos de grandes pedras.

Por muito tempo, um mistério pairou sobre aquelas rochas. Ninguém sabia a que propósito elas serviriam – se é que tinham algum, além de se prestar como um local para rituais religiosos –, embora desde

sempre houvesse a desconfiança de que os arranjos megalíticos (ou seja, de grandes pedras) estivessem ligados às posições dos astros.

Na verdade, o estudo dessas grandes construções de pedra (há outras, além de Stonehenge, menos famosas e sofisticadas) foi o impulso que deu início à ciência da arqueoastronomia que no princípio foi denominada "astronomia megalítica".

> A arqueoastronomia desenvolveu-se graças às pesquisas iniciadas em 1890 pelo astrônomo inglês Sir [Joseph] Norman Lockyer [1836-1920], que pode ser considerado como o moderno fundador desta ciência em virtude dos seus estudos dos monumentos egípcios e dos megalíticos ingleses. (MOURÃO, 2000, p. 14).

O mistério de Stonehenge, foi aparentemente solucionado pelos astrônomos Gerald Hawkins (1928–2003) e Fred Hoyle (1915-2001).

Após detalhados estudos das formações circulares de rochas, os pesquisadores concluíram que a obra na verdade se destinava a ajudar na previsão de eclipses. Hoje, esta é a teoria mais aceita, embora ainda existam arqueoastrônomos que defendem explicações alternativas para aquela formação megalítica.

A partir dos anos 1960, com a expansão dos estudos para além das construções megalíticas inglesas e francesas, o termo "astronomia megalítica" caiu em desuso, substituído por "arqueoastronomia". E, desde a época de Lockyer, o campo tem se desenvolvido notavelmente, com novas descobertas e interpretações mais sólidas aparecendo ano após ano. E não houve civilização avançada em tempos antigos que não orientou grandes construções arquitetônicas em razão da posição dos astros (como a pirâmide de Gizé, no Egito) ou erigiu impressionantes construções com o objetivo de melhor observar o céu (como é o caso dos maias, na América pré-colombiana).

Ao longo do tempo, vários instrumentos foram desenvolvidos para a observação do céu, atingindo seu ponto culminante por volta dos séculos 15 e 16, época das Grandes Navegações. Muitos desses instrumentos tiveram forte desenvolvimento entre os árabes, numa época em que a astronomia não era muito popular

no mundo cristão. Ao final de seu desenvolvimento, três deles ganharam maior destaque e presença no arsenal do astrônomo.

Esfera armilar

Sua aparência lembra a de um globo terrestre, mas, com grau muito maior de sofisticação. No centro do aparelho, um pequeno modelo da Terra. Ao seu redor, vários anéis representavam os grandes círculos de referência da esfera celeste – o equador celeste, a eclíptica, o meridiano, o horizonte etc. Trata-se basicamente de uma forma geocêntrica de organizar o céu, e não é à toa que tenha se tornado tão popular entre os astrônomos ainda antes da publicação dos trabalhos de Copérnico – a realidade observacional, ou seja, a sensação que temos ao observar o céu, é geocêntrica.

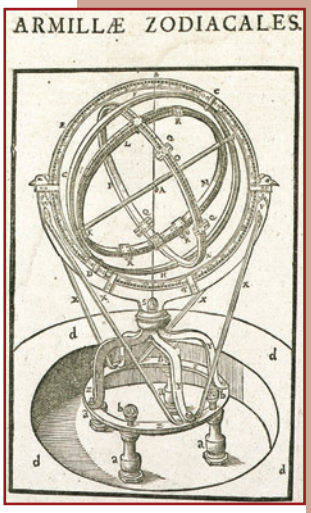
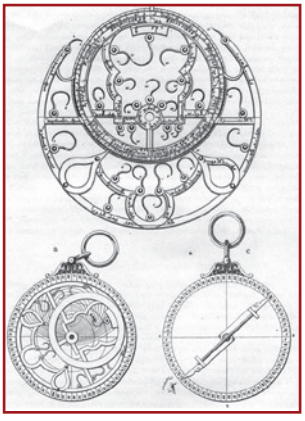


Figura 3.1. Imagem de esfera armilar.

Reprodução de imagem publicada em obra de Tycho Brahe, *Astronomiae Instauratae Mechanica*, de 1598. Disponível em www.hps.cam.ac.uk/starry/armillobser.html/



Wikpédia. www.wikipedia.org/

Figura 3.2. Ilustração mostra astrolábio persa do ano 1208.

Astrolábio

Trata-se de um objeto que permite medir a posição dos astros e sua altura acima da linha do horizonte. É composto de dois ou mais círculos, que podem ser girados uns em relação aos outros.

Sextante

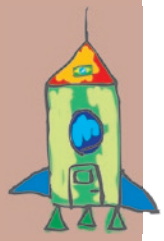
Era o mais prático dos três. Com a forma de um sexto de círculo (daí o seu nome), ele era utilizado principalmente para a navegação. Usando-o em observações astronômicas, era possível determinar a latitude de um dado lugar, ou seja, a coordenada vertical num globo ou mapa terrestre.

Com esses instrumentos, a astronomia ganhava a sua principal utilidade da época (tirando o uso desses conhecimentos na elaboração de supersticiosas previsões

Reprodução de imagem publicada no sítio www.wikipedia.org/

Figura 3.3. Sextante de Johannes Hevelius (1611-1687), astrônomo do século 17. Os sextantes também existiam em modelos menores, mais práticos para medições em alto mar.

astrológicas, que eram parte do fazer astronômico de então): prestar auxílio aos navegantes para determinar sua posição no mar, uma vez que outros pontos de referência desapareciam numa viagem transoceânica. Além de permitir uma navegação mais segura, esse tipo de informação ajudava a impressionar e dominar povos menos instruídos.



Os capitães de embarcações no passado costumavam ter razoáveis conhecimentos de astronomia e, muitas vezes, levavam a bordo um astrônomo para ajudá-los a mapear o curso.

É clássica a história em que Cristóvão Colombo, para conseguir a colaboração de silvícolas das Antilhas, ameaça apagar a luz da Lua, já sabendo que um eclipse lunar estava previsto para aquela noite. Os eclipses, como se sabe, muitas vezes evocam temores supersticiosos (astrólogos que o digam!), mesmo a quem já os viu com freqüência. E ver alguém que podia "comandá-los" (ou, na melhor das hipóteses, prevê-los) foi demais para os índios. Conforme o disco lunar começou a ser encoberto pela sombra projetada pela Terra, os nativos trataram de atender rapidamente a todas as demandas do explorador genovês. A história é relatada pelo astrônomo Ronaldo Rogério de Freitas Mourão, em sua obra "O Livro de Ouro do Universo".

Latitude: num mapa, é designada pela posição num eixo vertical. Dada a esfericidade da Terra, ela é medida em graus, a partir da Linha do Equador (0°). A escala vai até 90° Norte ou 90° Sul.

Longitude: num mapa, é designada pela posição num eixo horizontal. Dada a esfericidade da Terra, ela é medida em graus, a partir do meridiano de Greenwich (0°). A escala vai até 180° Leste ou 180° Oeste (que se encontram no mesmo lugar e marcam a linha internacional de mudança de data).

Vale lembrar que, a despeito da ajuda celeste às navegações, esses empreendimentos guardavam uma enorme dose de risco – a partir dos astros, só se podia dizer com alguma precisão a **latitude**. Ninguém conseguia determinar a **longitude** – a coordenada horizontal, igualmente importante, porque informa, por exemplo, a distância entre um navio e a Europa na travessia do oceano Atlântico.

Descobertas que permitiram determinar a longitude

A tecnologia de determinação da longitude permaneceu como o maior desafio para os astrônomos durante séculos. Ao final, a solução não emergiu da astronomia, mas da construção de relógios. A longitude podia ser determinada com facilidade se um navegador pudesse confrontar a hora local em seu navio (medida por

um relógio de Sol ou outro instrumento equivalente) no momento exato em que fosse meio-dia num ponto de referência cuja longitude fosse conhecida. Calcular a diferença de horário permitiria determinar quantos graus separavam o navio do ponto de referência.

O problema era como levar ao navio um relógio sincronizado com o horário no ponto de referência com longitude conhecida – o balanço produzido pelas ondas e as dilatações de materiais ocasionadas pelas diferenças de temperatura inevitavelmente desregulavam o relógio, impedindo a obtenção de medidas precisas. O resultado era rotineiramente catastrófico – navios topavam sem aviso com terras que julgavam estar muito mais distantes, muitas vezes resultando na perda da embarcação e sua tripulação.

Enquanto os astrônomos trabalhavam em soluções que envolveriam observações detalhadas da Lua ou mesmo dos satélites naturais de Júpiter (medições possivelmente refinadas demais para serem realizadas a bordo de um navio), a resposta partiu de um modesto construtor de relógios inglês, John Harrison (1693-1776), que conseguiu produzir modelos capazes de manter o sincronismo, mesmo depois de submetidos a grandes turbulências oceânicas a bordo de um navio.

A despeito dessa grande vitória dos relógios terrestres sobre os relógios celestes, mesmo antes que Harrison tivesse sucesso, uma nova tecnologia entraria em cena na astronomia, proporcionando uma revolução no conhecimento que até hoje segue em andamento.

MENSAGENS SIDERAIS

> Cerca de dez meses atrás um relato chegou a mim de que um holandês havia construído um óculo, com o qual objetos visíveis, embora a uma grande distância do olho do observador, eram vistos distintamente como se estivessem perto; e algumas provas de seu desempenho maravilhoso foram relatadas, a que alguns deram crédito e outros contradisseram. Uns poucos dias depois, eu recebi confirmação do relato em uma carta escrita de Paris por um nobre francês, Jaques Badovere, o que finalmente

O cientista italiano Galileu Galilei (1564-1642) foi o grande precursor do empirismo – atitude de realizar experimentos calculados e deliberados para decifrar os segredos da natureza. Ao estabelecer este que é um dos pilares fundamentais da ciência moderna, Galileu pôde iniciar a decifração de alguns dos maiores mistérios da física, desbancando Aristóteles. Ele decifrou a equação que descreve o movimento de projéteis (iniciativa que mais tarde levaria à descrição da gravitação universal) e esboçou a lei da inércia. No campo da astronomia, foi forte defensor do heliocentrismo de Copérnico e iniciou a exploração telescópica dos céus, em 1609 e 1610. Descobriu quatro luas em Júpiter, hoje denominadas "satélites galileanos". Por sua defesa do heliocentrismo, foi julgado e condenado pela Santa Inquisição, em 1633, e terminou seus dias em prisão domiciliar.

> me motivou primeiro a investigar o princípio do óculo e então considerar os meios pelos quais poderia eu inventar um instrumento similar, o que pouco depois eu consegui fazer, pelo estudo profundo da teoria da Refração; e eu preparei um tubo, primeiro de chumbo, e nas pontas coloquei duas lentes de vidro, ambas planas de um lado, mas uma com o outro lado esfericamente convexo, a outra, côncavo. Então, ao levar meu olho à lente côncava, eu vi objetos satisfatoriamente grandes e próximos, que pareciam estar a um terço da distância e nove vezes maiores do que quando vistos com o olho natural apenas. Eu logo em seguida construí outro óculo com mais competência, que ampliou objetos em mais de sessenta vezes. No fim, sem evitar trabalho ou custo, consegui construir para mim um instrumento tão superior que objetos vistos através dele pareciam ampliados em quase mil vezes, e mais do que trinta vezes mais próximos do que se vistos somente com o poder natural da vista.
>
> Seria uma grande perda de tempo enumerar a importância e os benefícios que esse instrumento deve conferir, quando usado em terra ou mar. Mas, sem prestar atenção a seu uso para objetos terrestres, eu me dediquei a observações dos corpos celestes. (GALILEU GALILEI, 1880, p.p.10-11).

Foi assim que o cientista italiano Galileu Galilei começou a descrever as primeiras observações consistentes dos céus feitas por um ser humano com um telescópio refrator (ou luneta, como também é chamado esse instrumento). A publicação de seu primeiro livro, *Sidereus Nuncius* [Mensageiro das Estrelas], em 1610, marcou uma nova era na história da astronomia – uma em que os instrumentos revelariam muito mais do que estava ao alcance do homem usando apenas a vista desarmada e reforçariam as idéias copernicanas. Quase instantaneamente inúmeras descobertas incríveis começaram a se revelar ao italiano.

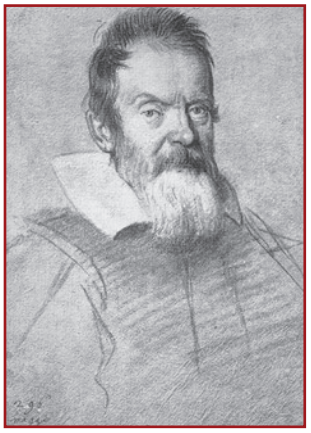


Figura 3.4. Retrato de Galileu Galilei.

Reprodução do quadro pintado pelo pintor italiano Ottavio Leoni (1578-1630). A obra encontra-se no Museu do Louvre, em Paris.

E, como se pode notar pelo texto, Galileu nem tenta tomar para si o crédito pela invenção da tecnologia em si – criada originalmente, segundo a maioria dos historiadores, pelo

holandês Hans Lippershey (1570-1619), em 1608. O italiano se coloca apenas como um aperfeiçoador do invento, e sua grande inovação consiste em sua aplicação – pela primeira vez uma luneta era empregado na observação de objetos no céu.

SIDEREVS
NVNCIVS
MAGNA, LONGEQVE ADMIRABILIA
Spectacula pandens, suspiciendaque proponens
unicuique, præsertim verò
PHILOSOPHIS, necnon ASTRONOMIS, quæ à
GALILEO GALILEO
PATRITIO FLORENTINO
Patauini Gymnasij Publico Mathematico
PERSPICILLI
Nuper à se reperti beneficio sunt obseruata in LVNÆ FACIE, FIXIS INnumeris, LACTEO CIRCVLO, STELLIS NEBVLOSIS,
Apprimè verò in
QVATVOR PLANETIS
Circa IOVIS Stellam disparibus interuallis, atque periodis, celeritate mirabili circumuolutis; quos, nemini in hanc vsque diem cognitos, nouissimè Author deprehendit primus, atque
MEDICEA SIDERA
NVNCVPANDOS DECREVIT.
VENETIIS, Apud Thomam Baglionum. M DC X.
Superiorum Permissu, & Priuilegio.

Reprodução de imagem publicada no sítio www.math.yorku.ca/SCS/Gallery/images/galileo1610-cover.jpg/

Figura 3.5. Capa do livro *Sidereus Nuncius*, de Galileu Galilei, publicado em 1610.

Galileu começou suas primeiras observações, realizadas entre janeiro e março de 1610, pela Lua. Embora fosse o objeto de maior visibilidade para os astrônomos antigos, pois, mesmo a olho nu revelava alguns traços de sua superfície, ainda havia muito para se descobrir. E o astrônomo italiano começa a demolir a noção aristotélica do mundo pela observação lunar.

> Essas manchas [as crateras] nunca foram observadas por ninguém antes de mim; e pelas minhas observações, repetidas muitas vezes, fui levado à opinião que eu expressei, qual seja, de que estou certo de que a superfície da Lua não é perfeitamente lisa, livre de variações e exatamente esférica, como uma grande escola de filósofos toma a Lua e os outros corpos celestes, mas que, ao contrário, ela é cheia de desigualdades, variações, cheia de vazios e protuberâncias, exatamente como a superfície da própria Terra, que varia em toda parte por grandes montanhas e vales profundos. (GALILEU GALILEI, 1880, p.15).

Galileu tirou essa conclusão com base nas sombras projetadas no interior das crateras na região da Lua que divide o hemisfério que está sendo iluminado pelo Sol do que está nas sombras. Se a superfície lunar fosse completamente lisa, essa linha que separa luz e escuridão seria regular. O que o astrônomo notou foi uma série de irregularidades. Em desenhos, ele demonstrou o que queria dizer.

O astrônomo italiano também fez outras considerações relevantes a respeito da Lua, ao defender a tese (correta) de que o brilho pálido da região da superfície lunar não-iluminada pelo Sol é produzido pela luz refletida pela própria Terra. (Assim como o luar ilumina fracamente a noite terrestre, o "brilho terrestre" ilumina fracamente a noite lunar.)

Saiba mais...

A partir de suas observações, Galileu também apoiou (erradamente) a tese de que a Lua possui uma atmosfera. Ele postulou a existência desse invólucro gasoso para explicar por que as irregularidades da superfície não aparecem nas bordas do disco lunar; uma proposta engenhosa, ainda que equivocada. O astrônomo italiano também imaginou que as regiões escuras da Lua pudessem ser mares. Até hoje o termo em latim para mar, *mare*, é usado para descrever essas regiões, muito embora saibamos que não há água em estado líquido na Lua – embora haja suspeitas da existência de gelo em crateras de seu pólo sul. Essas conclusões de Galileu explicam em parte o porquê de Kepler, em seu *Somnium*, ter descrito o satélite natural terrestre como possuidor de atmosfera, água e, como conseqüência, habitantes.

Depois das observações lunares, o italiano se voltou para as chamadas "estrelas fixas". E a revelação aí foi que existem muito mais estrelas do que antes se imaginava. Para onde quer que apontasse sua luneta, Galileu via objetos nunca antes catalogados. Ele também reparou que o poder de aumento proporcionado por seu instrumento não era muito efetivo para ampliar a imagem das estrelas, que se mantinham apenas como pontos, em vez de discos, como era o caso de todos os planetas. E, ao mirar seu telescópio na **Via Láctea**, Galileu constatou que o que parecia uma faixa gasosa, na verdade, era uma vasta coleção de estrelas, todas muito compactadas e, individualmente, pouco brilhantes para serem vistas a olho nu.

Via Láctea: é a nossa galáxia, ou seja, o grande conjunto de estrelas do qual o Sol e seus planetas fazem parte. Em sua forma espiral, estima-se que ela abrigue cerca de 200 bilhões de estrelas, sendo o Sol apenas uma delas. No Universo inteiro, os astrônomos estimam que existem bilhões de galáxias como a Via Láctea.

Mas a revelação mais chocante feita pelo italiano acerca dos céus nessa primeira bateria de observações, foi a descoberta de quatro pontos luminosos que pareciam estar girando ao redor de Júpiter, movendo-se em grande velocidade – quatro satélites, que ele batizou de "estrelas mediceanas", em homenagem a seu "padrinho" na nobreza, o grão-duque Cosimo de Médici, da Toscana.

As maiores luas de Júpiter hoje são conhecidas como Ganimedes, Calisto, Europa e Io (na ordem, da órbita mais externa para a mais interna), e, ao serem mencionadas em conjunto, costumam ser chamadas de "satélites galileanos".

Galileu logo percebeu que a descoberta das luas de Júpiter era o maior argumento já levantado em favor do heliocentrismo de Copérnico. Em *Sidereus Nuncius*, ele escreveu:

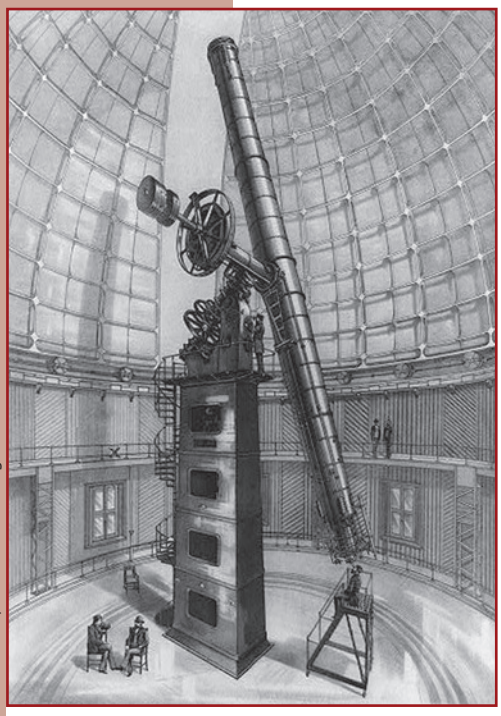
> [...] Temos um notável e esplêndido argumento para remover os escrúpulos daqueles que podem tolerar a revolução dos planetas ao redor do Sol no sistema copernicano, mas ficam tão perturbados pelo movimento de uma Lua ao redor da Terra, enquanto ambos realizam uma órbita de um ano de duração em torno do Sol, que consideram que essa teoria da constituição do universo deve ser vista como impossível; pois agora temos não só um planeta que gira ao redor de outro, enquanto ambos atravessam uma vasta órbita em torno do Sol, mas nosso sentido da visão nos apresenta quatro estrelas circulando Júpiter, como a Lua em torno da Terra, enquanto o sistema inteiro viaja por uma enorme órbita em torno do Sol no espaço de doze anos. (GALILEU GALILEI, 1610, p.p. 69-70).

E essas seriam apenas as primeiras descobertas do italiano que apoiavam Copérnico. Mais tarde, ele descobriria que Vênus possui fases, como as da Lua, o que só pode significar que aquele planeta gira ao redor do Sol.

A despeito do ataque às idéias do italiano, seu novo método de trabalho com a luneta estava fadado a mudar completamente a visão que temos do céu. Vale lembrar também que foi Galileu quem primeiro documentou a existência de manchas solares. Ele obviamente não olhou diretamente para o Sol por uma luneta – o que o cegaria de imediato –, mas usou um anteparo para observar uma projeção da imagem do Sol obtida através da luneta. Mais um exemplo da engenhosidade experimental do cientista italiano.

Mesmo com evidências quase conclusivas (o modelo de Tycho Brahe ainda sobrevivia como alternativa ao copernicano), Galileu acabou levado ao tribunal da Santa Inquisição após a publicação de outro livro, "Diálogos sobre os dois máximos sistemas de mundo, ptolomaico e copernicano", em 1632, e condenado por heresia (muito embora acreditasse fervorosamente em Deus).

Após abjurar seus ensinamentos "profanos", Galileu escapou da fogueira e teve a pena abrandada para prisão domiciliar, que cumpriu até o fim de sua vida, em 1642, numa vila de Arcetri, na Itália.



Al Aumuller/Biblioteca do Congresso dos EUA.

Figura 3.6. Ilustração do Observatório Lick, na Califórnia, publicada em 1889.

Com as descobertas sucessivas de Galileu, assim como de outros observadores munidos desse novo instrumento óptico, o **telescópio refrator** rapidamente se tornou a peça mais importante da astronomia. Com ele, um novo céu literalmente se abria aos pesquisadores. No entanto, essa tecnologia ainda era severamente limitada por duas dificuldades.

Uma delas era que o esforço para produzir um poder de ampliação cada vez maior tornava o aparelho imenso, devido à necessidade de construir uma lente objetiva enorme (para recolher a luz do objeto distante), o que por sua vez exigia um grande afastamento entre as duas lentes do instrumento, a objetiva e a ocular (que concentra a luz no olho do observador).

Além de permitir instrumentos com maior poder de ampliação, esse grande aumento da distância entre as lentes também ajudava a resolver outra grave deficiência dos telescópios refratores: a chamada **aberração cromática**. O resultado foi a construção de instrumentos monstruosos, com distâncias focais que chegavam a atingir os 70 metros! O astrônomo Ronaldo Rogério de Freitas Mourão (1935-) descreve em sua obra "O Livro de Ouro do Universo":

> Como era muito difícil fabricar tubos com tais comprimentos, dispunham-se as lentes sobre suportes (torres, mastros etc.), e os astrônomos no chão, com lupas, fazendo acrobacias, procuravam examinar as imagens fornecidas pelas objetivas. (MOURÃO, 2000, p. 116).

O problema perdurou até o fim do século 17, e só obteve uma solução mais razoável quando o óptico inglês John Dollond (1706-1761), em 1758, inventou as primeiras lentes objetivas "acromáticas", que não possuíam a terrível distorção de cores. Elas eram compostas

Telescópio refrator: assim chamado por usar lentes para coletar luz (objetivas) e ampliar as imagens (oculares), segundo os princípios da refração.

Aberração cromática: é a distorção das cores dos objetos observados pela luneta, pelo fato de o vidro das lentes não ter o mesmo índice de refração para todas as cores do espectro.

por duas lentes de vidro, coladas uma na outra, cada uma com um índice de refração diferente. Com essa inovação, as objetivas passaram a se acomodar em focos mais curtos e voltar a ser instaladas em tubos. “Surgem então algumas famosas lunetas”, prossegue Mourão.

> Em 1824, a [luneta] do Observatório de Dorpat, na Rússia, com objetiva de 42 cm e 4,30 m de foco; em 1835, a do Observatório de Cambrigde, com 32 cm; logo depois as dos Observatórios de Estrasburgo, Washington, Viena, Paris e Lick (Califórnia), respectivamente, com 50, 66, 68, 85 e 91 cm de diâmetro. Em 1892, foi construída a maior até hoje, no Observatório de Yerkes, em Chicago, com 1,02 m de diâmetro e 19 m de distância focal. (MOURÃO, 2000, p. 117).

Mas havia uma outra estratégia de ampliar imagens que contornava os principais problemas dos telescópios refratores; bastava, para isso, usar um espelho, em vez de uma lente objetiva, para fazer a coleta da luz. O primeiro a construir um telescópio refrator foi o grande físico inglês Isaac Newton. Em 1672, ele construiu um instrumento com um espelho metálico de concavidade esférica com 25 cm de abertura e 15 cm de foco. Foi a construção desse chamado telescópio refletor (por basear-se no princípio de reflexão da luz, ampliando a imagem por meio de espelho) que, aliás, lhe garantiu uma vaga como membro da *Royal Society*, importante instituição científica britânica que ele presidiria tempos depois.

A despeito de todas as qualidades do instrumento de Newton, ele possuía um grave defeito: deformava as imagens por aberração esférica (distorção da imagem causada pela curvatura do espelho usado para ampliar os objetos). A solução só foi encontrada em 1720, pelo inglês John Hadley (1682-1744), que trocou a forma da concavidade do espelho; em vez de esférica, paraboloide. Isso tinha o potencial para tornar os telescópios **refletores** mais eficientes que os gigantes **refratores**, mas ainda esbarrava num sério problema: a incipiência da técnica para a fabricação e o polimento de espelhos metálicos. Somente quando a construção de espelhos se tornou mais simples, os refletores assumiram uma posição de liderança na observação astronômica.

Reflexão: ocorre quando a luz, ao encontrar um meio diferente daquele em que está se propagando, é rebatida. É o caso da luz que, ao se propagar pelo ar, encontra um espelho.

Refração: ocorre quando a luz, ao encontrar um meio diferente daquele em que está se propagando, é desviada. É o caso da luz que, ao se propagar pelo ar, encontra uma lente e tem seu curso levemente modificado. O fenômeno explica a diferença de ângulo que observamos em objetos dentro de uma piscina ou uma banheira, com relação à sua posição real.

O primeiro grande telescópio, com espelho de 1,20 m de diâmetro e foco de 12 m, foi construído em 1789, pelo astrônomo inglês William Herschel. Um segundo foi construído pelo irlandês William Parsons (1800-1867), conde de Rosse, em 1845, com um espelho de 1,83 m de diâmetro e 17 m de foco. Mas esses esforços só seriam batidos quando o francês Leon Foucault (1819-1868) e o alemão Carl A. von Steinheil (1801-1870), em 1856, demonstraram a possibilidade de fabricar os espelhos com vidro, apenas recobertos por uma leve camada refletora de prata. Mourão completa:

> Logo que surgiram os espelhos de vidro, não houve astrônomo que não preferisse os telescópios, em virtude da grande luminosidade garantida por seus diâmetros e pelo fato de os telescópios serem mais adequados que as lunetas [ou telescópios refratores] para registrar as imagens de astros fracos, bem como para fornecer espectros mais fiéis, pois a luz dos astros não era obrigada a atravessar o vidro. (MOURÃO, 2000, p. 120).

O século 19 marcou não só o momento de transição entre os telescópios refratores e refletores, mas também uma grande descoberta – era possível, a distância, descobrir a composição dos astros. Entrava em cena a **espectroscopia**.

Reprodução do quadro de Isaac Newton, pintado pelo italiano, barroco, Antonio Verrio por volta de 1690 e que está em Burghley House, Stamford, Lincolnshire, Inglaterra.

Figura 3.7. Isaac Newton realiza experimento com prisma.

O espectro, como sabemos, é o efeito de decomposição da luz em suas componentes básicas. Os primeiros estudos profundos desse efeito também tiveram sua origem com Isaac Newton, que demonstrou a decomposição da luz branca nas cores do arco-íris, após a passagem por um **prisma** de vidro. A despeito de suas notáveis investigações, Newton naquele momento ainda estava longe de desvendar o poder dos espectros em portar informações sobre os objetos a partir dos quais eles emanavam.

Espectroscopia: estudo de objetos a partir do seu espectro, ou seja, da decomposição da luz que emitem ou refletem em suas cores componentes. A decomposição pode se dar por meio de um prisma, como identificou Isaac Newton.

Prisma: sólido geométrico de arestas paralelas podendo ter um triângulo com base.

O grande salto ocorreu de fato quando se fez um exame cuidadoso do espectro da luz solar: descobriu-se então que o padrão de arco-íris era atravessado por numerosas faixas negras de várias espessuras. Conforme esse espectro era ampliado, usando uma seqüência de prismas, chegavam a ser observadas cerca de 3.000 dessas raias (as faixas negras). Mas o que elas indicavam? Ninguém tinha a menor idéia, até o físico alemão Gustav R. Kirchoff (1824-1887) matar a charada. Em 1860, ele descobriu o que aquilo queria dizer.

Ocorre que os elementos químicos, quando aquecidos até se tornarem incandescentes, possuem cada um seu próprio padrão de espectro característico. Cada um dos elementos tem sua própria distribuição de raias, situadas em posições bem determinadas, e nenhum elemento tem uma faixa igual à do outro. Então, a presença de uma determinada raia, em detrimento de outra, indica a presença de um elemento, em vez de outro. Os espectros de cada elemento são muito variados. "O ferro, por exemplo, tem mais de duas mil faixas, ao passo que o chumbo e o potássio têm apenas uma", afirma Mourão em "O Livro de Ouro do Universo".

> Como todos os elementos químicos já foram estudados, suas raias características são bem conhecidas, de modo que se torna possível explorar as estrelas, os planetas, as galáxias e nebulosas e descobrir suas composições químicas. (MOURÃO, 2000, p. 122).

Pela primeira vez, era possível identificar do que eram compostos os corpos celestes, ou seja, pelos mesmos elementos que víamos aqui na Terra: hidrogênio, hélio, oxigênio, carbono, ferro, e assim por diante.

LUZ INVISÍVEL

Enquanto alguns cientistas duelavam para entender o que poderia ser aprendido a partir do espectro, outros se perguntavam se havia algo além dele a ser investigado. A iniciativa daria origem a uma outra revolução na observação astronômica.

O primeiro grande inovador nessa escalada possivelmente foi o inglês William Herschel. Em 1800, o astrônomo estudava a temperatura das diferentes regiões do espectro solar. Quando colocou o termômetro aquém da faixa vermelha, ele não esperava resultado algum, mas acabou encontrando ali uma estranha fonte de calor. Claramente havia algo naquela região que, embora fosse invisível, influenciava o termômetro. Com isso, ele se tornava o descobridor da chamada radiação infravermelha.

Um processo similar levou à descoberta da radiação ultravioleta – localizada, naturalmente, na outra ponta do espectro visível, além do violeta. Ao observar os diferentes efeitos produzidos pelo espectro solar na decomposição de uma substância chamada cloreto de prata, o físico alemão Johan Wilhelm Ritter (1776-1810) constatou que a região além do violeta era ainda mais poderosa na destruição do composto do que as partes visíveis do espectro.

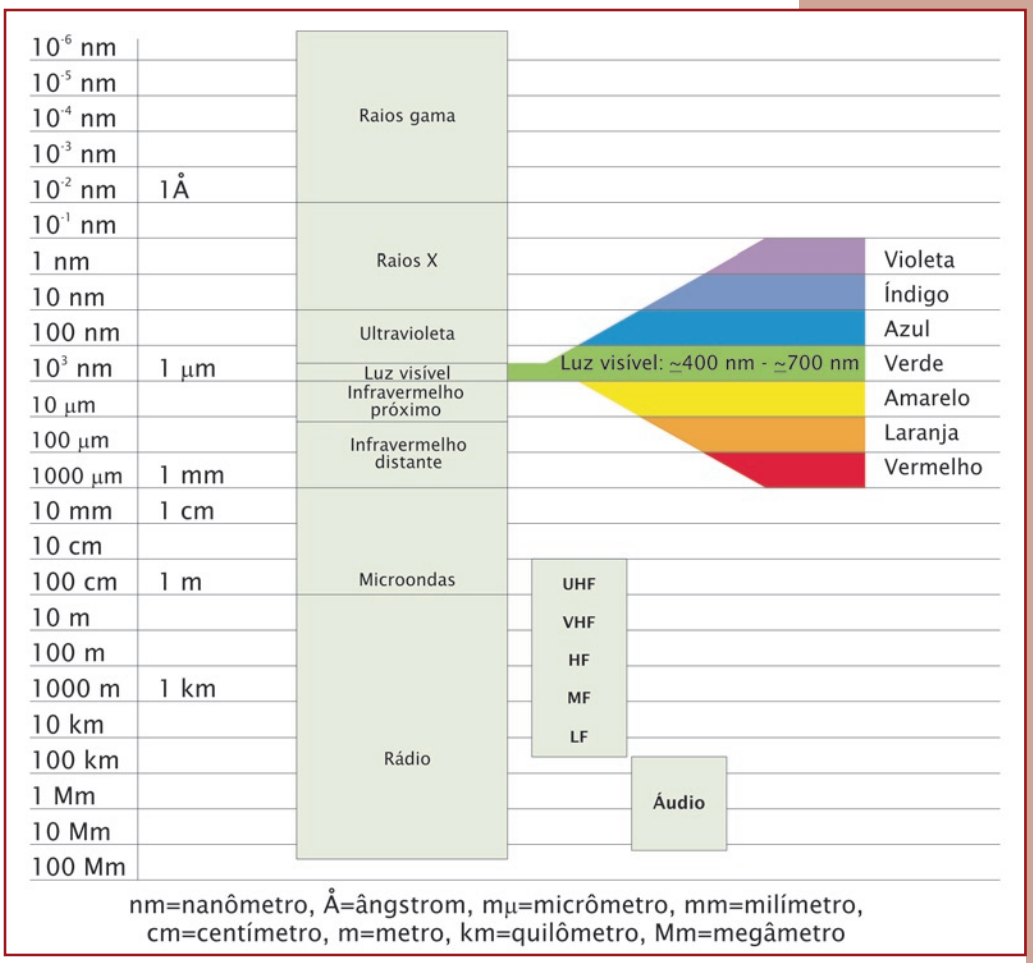
Em 1803, o físico inglês Thomas Young (1773-1829) começa a sustentar a idéia de que a luz pode ser interpretada como uma onda, e não como uma partícula, como imaginava Isaac Newton. Era o início de um processo que levaria a uma compreensão mais profunda da natureza da luz, que atingiria um ponto alto com o escocês James Clerk Maxwell (1831-1879), ao demonstrar que eletricidade e magnetismo eram apenas faces da mesma moeda e estavam fortemente atrelados à luz – que passaria então a ser vista como radiação eletromagnética. O quadro começava a fazer um pouco mais de sentido.

A descoberta seguinte viria do alemão Heinrich Rudolph Hertz (1857-1894), que detectou radiação eletromagnética com comprimento de onda mais longo que o do infravermelho – primeiramente elas foram chamadas de "ondas hertzianas", mas logo acabaram popularizadas como "ondas de rádio". Menos de dez anos depois, em 1895, mais um achado impressionante: o alemão Conrad Röntgen (1845-1923) descobre os raios X, que depois seriam confirmados como uma forma de radiação eletromagnética mais energética que o ultravioleta.

***Heinrich Rudolph Hertz** (1857-1894) físico alemão que, em 1888, foi o primeiro a demonstrar a existência da radiação eletromagnética ao construir aparelhos geradores de ondas de rádio UHF. Emprestou seu nome, hertz, para a designação da unidade de freqüência no Sistema Internacional de Unidades.*

***Wilhelm Conrad Röntgen** (1845-1923) foi o físico alemão que, em 1895, produziu e detectou os primeiros raios X, na época também chamados de raios Röntgen. O feito deu a ele o Prêmio Nobel em Física de 1901. Seu nome é comumente apresentado com a grafia inglesa, "Roentgen", sem o trema e com um "e" a mais.*

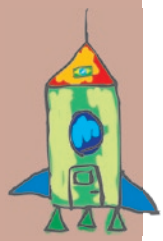
Um ano depois da primeira observação dos raios X, o francês Antoine Henri Becquerel (1852-1908) descobriria a radioatividade, mesmo sem identificar sua fonte (no caso específico em questão, o urânio). O físico neozelandês Ernest Rutherford (1871-1930) batizou essa faixa, posicionada além dos raios X, de radiação gama.



Sueli Prates (AEB/Programa AEB Escola). Adapatação de ilustração publicada no sítio http://lasp.colorado.edu/cassini/education/Electromagnetic%20Spectrum.htm/.

Figura 3.8. Espectro eletromagnético total com identificação da porção visível.

Com isso, o século 20 começaria com dois poderosos instrumentais novos: o primeiro, e pronto para uso, consistia na decodificação das informações que vinham dos astros distantes na forma de seu espectro de luz visível. O segundo, e mais assustador,



Atualmente, é impossível falar no estudo dos astros sem levar em conta todas essas vastas possibilidades. Afinal de contas, ficou demonstrado que a porção visível do espectro é apenas uma pequena parte de tudo que pode ser estudado.

era o de que o espectro ia muito além daquilo que podíamos enxergar, e com isso vinha a noção de que seria possível garimpar ainda mais informações nessas regiões invisíveis do espectro.

Com a enorme ampliação das perspectivas e o crescimento natural dos telescópios, começaram a ficar evidentes algumas das deficiências (quase) incontornáveis da astronomia. Como, por exemplo, evitar a significativa influência da atmosfera terrestre na observação dos astros?

ADAPTAÇÃO À ATMOSFERA

Uma noite sem ventos pode ser enganadora. Enquanto a paz reina no solo, na alta atmosfera a temperatura varia bastante de acordo com a altitude e intensos fluxos de ar se locomovem a grandes velocidades. Esses fatores, naturalmente, influenciam a luz, enquanto ela atravessa as camadas atmosféricas em direção às lentes e aos espelhos de nossos telescópios refratores e refletores. Nos instrumentos menores, a distorção gerada pela atmosfera é quase imperceptível. Nos maiores, ela cresce em proporção.

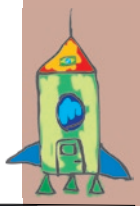
Resultado: as imagens obtidas são inevitavelmente menos nítidas do que os astrônomos gostariam que fossem. Como solucionar a questão? Uma idéia, que por muito tempo pululou nas mentes dos pesquisadores, foi atacar fogo com fogo. Explicando: se a atmosfera distorce os raios luminosos, a solução seria distorcer também o espelho que recebe a luz, de forma a "endireitar" novamente a radiação. A esse conceito os cientistas deram o nome de "óptica adaptativa".

A lógica é impecável, mas, a realização é complexa. Como entortar o espelho de modo a compensar a distorção atmosférica?

Em primeiro lugar, é preciso identificar exatamente de que modo a atmosfera está distorcendo a luz vinda do espaço. Feito isso – que já não é tarefa tão simples –, é preciso distorcer o espelho, na velocidade exigida para produzir a compensação – ação que durante muito tempo foi simplesmente impossível. Por essa razão, o conceito acabou deixado de lado.

A coisa só começou a mudar de figura durante os anos 1990, quando a tecnologia dos computadores já estava suficientemente avançada para processar todas essas informações e produzir automaticamente a deformação exigida no espelho. Começaram então a surgir os primeiros telescópios equipados com óptica adaptativa, que produziram as melhores imagens já obtidas de objetos astronômicos com equipamentos em terra, ou seja, sujeitos aos caprichos da atmosfera terrestre.

O surgimento de telescópios equipados com óptica adaptativa foi destacado pela prestigiosa revista científica norte-americana Science como um dos dez maiores feitos da ciência em 2002.



Embora fosse um enorme avanço, a óptica adaptativa não resolvia todos os problemas. Em primeiro lugar, ela não pode ser usada indiscriminadamente para estudar qualquer região do céu. Para que ela funcione, é preciso que a área observada possua um astro suficientemente brilhante para permitir a "calibragem" do sistema, ou seja, a detecção dos efeitos atmosféricos para sua efetiva compensação por meio da distorção do espelho.

Essa deficiência tem sido resolvida nos observatórios mais modernos com a instalação de "estrelas artificiais", que são produzidas por feixes de laser disparados para o alto. Com a detecção da reação da atmosfera ao laser, é possível configurar corretamente o espelho e observar a região do céu desejada.

Existe, entretanto, uma dificuldade que nem mesmo a "milagrosa" óptica adaptativa pode resolver. Algumas faixas mais energéticas da radiação eletromagnética não conseguem ultrapassar a alta atmosfera. (Aliás, ainda bem que não conseguem, pois

raios ultravioleta, X e gama são extremamente nocivos à vida, desestabilizando as grandes moléculas de carbono que fazem os principais componentes dos organismos). Ou seja, por melhor que seja o instrumento utilizado em terra, para efeito do estudo dessas radiações, o astrônomo está efetivamente no escuro.

A resposta a esse dilema é óbvia, ainda que tortuosa: é preciso sair da atmosfera. A busca pelo conhecimento, cedo ou tarde, necessariamente, nos põe a caminho do espaço.

LEITURA COMPLEMENTAR

RECONHECENDO OS PLANETAS E AS ESTRELAS

Cássio Leandro Dal Ri Barbosa (Univap).

Conhecer e reconhecer os astros ao observar o céu constitui uma atividade multidisciplinar. Além de conceitos de astronomia e geografia, pode-se explorar uma simples observação noturna em aulas de história, física, mitologia e até mesmo filosofia. É possível conduzir uma atividade proveitosa de observação do céu sem instrumentos em qualquer lugar do Brasil, necessitando-se apenas de um local aberto com pouca iluminação, como um pátio ou quadra de esportes que estejam escuros. Grandes centros como São Paulo, Rio de Janeiro ou Belo Horizonte, por exemplo, serão prejudicados, mas ainda é possível trabalhar o reconhecimento de planetas e estrelas.

Os planetas não guardam uma posição fixa no céu, como as estrelas. Isto significa que não existe uma época do ano preferencial para se observar um planeta. Por outro lado, os planetas nunca se afastam de uma faixa estreita no céu, chamada de eclíptica. Esta faixa se estende de Leste a Oeste e representa o trajeto percorrido pelo Sol, pela Lua e pelos planetas durante o ano. Esta faixa percorre uma série de constelações, das quais se destacam as constelações do zodíaco, tais como Escorpião, Touro, Aquário etc. Devido a esta peculiaridade para localizar um planeta no céu, é recomendável o apoio de cartas celestes atualizadas para o dia da atividade. Estas cartas celestes podem ser geradas sem custo em diversos sítios na Internet.

Dos oito planetas do Sistema Solar, podemos observar sem instrumentos Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno, cada qual

com uma particularidade que nos permite identificá-lo. Com muita atenção e paciência é possível notar o deslocamento dos planetas em relação às estrelas. Este deslocamento é mais notável nos planetas mais próximos do Sol e está relacionado com o movimento de translação do planeta em torno do Sol.

Mercúrio é o planeta mais próximo do Sol, por isso nunca se afasta muito dele. Mercúrio pode ser visto apenas pouco antes do nascer do Sol, ou pouco depois do anoitecer por poucas horas no céu, dependendo da sua posição em sua órbita. Por este motivo ganhou o nome do mensageiro dos deuses, veloz em suas aparições, sempre perto do horizonte, próximo ao poente (Oeste) ou próximo ao nascente (Leste). Além disso, tem um brilho claro, mas não muito intenso, e por esses motivos é o planeta mais difícil de se observar.

Vênus também está mais próximo do Sol do que a Terra. Desta maneira também não se afasta muito dele, mas é muito mais fácil de se localizar do que Mercúrio, já que, dependendo da ocasião, poderá ficar no céu por várias horas. O planeta Vênus, a deusa do amor para os antigos romanos, tem um brilho intenso e na maioria das vezes é o astro mais brilhante do céu, depois do Sol e da Lua. Também é observado logo depois do anoitecer quando surge próximo ao poente. Nesta situação é chamado, popularmente, de "Vésper", a "estrela" da tarde. Quando Vênus surge um pouco antes do nascer do Sol, na direção leste, é chamado de "Estrela d'Alva", a "estrela" da manhã.

Marte está mais distante do Sol do que a Terra, em uma órbita mais externa; por isso, em determinadas ocasiões pode permanecer a noite toda visível no céu. Marte possui um brilho que vai do vermelho pálido ao laranja intenso, dependendo de sua posição em relação ao Sol e à Terra. Esta coloração peculiar o fez conhecido como o deus da guerra para os antigos romanos por lembrar o sangue derramado nas batalhas.

Júpiter está ainda mais distante que Marte, mas possui um brilho mais intenso e bem claro, por ser maior e ter uma capa de nuvens

com grande capacidade de refletir a luz do Sol. Freqüentemente, torna-se o astro mais brilhante do céu (depois do Sol e da Lua, claro), suplantando Vênus. Este aspecto majestoso fez de Júpiter o deus dos deuses para os romanos.

Saturno é o mais distante dos planetas que se pode observar a olho nu, e tem um aspecto pálido e amarelado. Seu brilho, todavia, pode se tornar tão intenso quanto o de Júpiter em ocasiões favoráveis. É o planeta que tem o deslocamento mais lento no céu, sendo notado apenas depois de vários meses de observação.

Em virtude da grande extensão territorial do Brasil, em especial na direção Norte-Sul, algumas constelações são visíveis apenas nas regiões mais ao norte e outras apenas nas regiões mais ao sul do País. Além disso, em conseqüência do movimento de translação da Terra em torno do Sol, as constelações não permanecem visíveis no céu durante o ano todo.

De todas as constelações visíveis de norte a sul do Brasil, a mais famosa é a do Cruzeiro do Sul. Ela nos auxilia a localizar os pontos cardeais a partir do Sul, bastando prolongar o braço maior da cruz por quatro vezes e meia o seu tamanho nesta mesma direção e então "descer" perpendicular ao horizonte. Este ponto no horizonte será o Sul e, se estivermos de frente para ele, o Norte estará às nossas costas, o Leste à esquerda e o Oeste à direita.

O Cruzeiro do Sul pode ser usado para marcar as estações do ano, assim como os índios tupi faziam. Para eles o Cruzeiro do Sul era chamado de curuçu – a cruz. Logo ao anoitecer, no início do outono, em 20 de março, o Cruzeiro está deitado com a extremidade superior na direção leste; já no início do inverno, em 21 de junho, o Cruzeiro estará quase em pé. Três meses depois, no início da primavera, em 23 de setembro, ele estará tombado na direção oeste. Durante o verão, o Cruzeiro está de cabeça para baixo, portanto, abaixo do horizonte na maioria das regiões brasileiras. No entanto, logo ao anoitecer do dia do início do verão (21 de dezembro), as "Três Marias" estarão a Leste, logo acima

do horizonte. (É preciso lembrar que as estações são "invertidas" no Hemisfério Norte, como em Roraima e Amapá, por exemplo: 20/03 primavera; 21/06 verão; 23/09 outono e 21/12 inverno.)

As "Três Marias" são o nome popular dado para as três estrelas do cinturão de Órion, o caçador que dizimava os animais na Terra. Segundo a lenda (ou, pelo menos, em uma das muitas versões dela), Artêmis, irmã de Apolo, enviou um escorpião com a intenção de matá-lo, que passou a persegui-lo, incansavelmente, até que um dia conseguiu ferroá-lo no pé, no momento em que Órion pisou nele. Essa perseguição da mitologia pode ser vista nos céus também. Órion é uma constelação de verão, e o Escorpião uma constelação de inverno, portanto, nunca as duas estão no céu ao mesmo tempo. Toda vez que o Escorpião surge no céu prenunciando a chegada do inverno, Órion se esconde no horizonte. Seis meses depois, com a chegada do verão, Órion surge no céu perseguindo o Escorpião, mas este se esconde abaixo do horizonte.

ATIVIDADES

SIMPLIFICANDO A LUNETA COM LENTE DE ÓCULOS

João Batista Garcia Canalle (Uerj) e Adelino Carlos Ferreira de Souza (Uerj). Publicado no Carderno Brasileiro de Ensíno de Física v.22, n 1, p. 121- 130, 2005.

Apresentação

> A principal ferramenta de trabalho do astrônomo é o telescópio. O manuseio dele é sempre motivo de enorme curiosidade por parte de alunos do ensino fundamental ou médio e até mesmo dos respectivos professores. Visando propiciar o acesso destes a uma luneta de fácil construção, com materiais alternativos, de fácil localização no comércio, de baixo custo e resistente ao manuseio de alunos, simplificamos a montagem de uma luneta construída com lente de óculos, de 1 ou 2 graus positivos, e monóculo de fotografia (CANALLE, 1994).

Nesta atividade mostramos como construir uma luneta constituída por uma lente de óculos de 2 graus positivos, um ou dois monóculos de fotografia, canos de PVC, e que tem como tripé uma simples garrafa PET.

A construção da luneta tem sido muito útil para professores, alunos e demais interessados em astronomia em geral, pois ela é de simples construção, usa materiais acessíveis no comércio de quase qualquer cidade do País, é resistente ao manuseio e permite ver, em condições adequadas, as crateras lunares.

Objetivos

Construir uma luneta e observar as crateras da Lua.

Sugestão de problematização

Usar a criatividade e habilidades manuais para construir uma luneta; descobrir o aumento de uma luneta, observar a inversão das imagens, estudo da lei da refração e ótica geometria de lentes.

Materiais

As letras indicativas em algumas peças estão esquematizadas na Figura 3.9.

1. Lentes e encaixes

- 1 lente incolor de óculos de 2 graus positivo (letra B)
- 1 luva simples de 50 mm, branca, de tubo de esgoto (conexão de PVC)
- 2 monóculos de fotografia (ou visor de fotografia) – letra J
- 1 bucha de redução curta, marrom, de 40 mm x 32 mm (conexão de PVC) – letra II'
- 1 disco de cartolina preta de 50 mm de diâmetro com um furo de 25 mm de diâmetro – letra C

2. Luneta

- 1 tubo branco de esgoto com diâmetro de 2" (= 50 mm) e com 40 cm de comprimento – letra DE
- 1 tubo branco de esgoto com diâmetro de 1 1/2" (= 40 mm) e com 40 cm de comprimento – letra FG
- 1 tubo branco de esgoto de com diâmetro 1 1/2" (= 40 mm) e com 10 cm de comprimento – letra H
- 1 plugue branco de esgoto de 2" (= 50 mm) – letra L
- 1 rolo de esparadrapo de aproximadamente 12 mm de largura por 4,5 m de comprimento
- 1 caixa pequena de resina epóxi (mais conhecida pela marca Durepoxi®) ou similar

3. Tripé

- 1 tubo com as mesmas características do tubo da luneta, com 10 cm de comprimento e 5 cm de diâmetro
- 2 parafusos de 3/16" x 1/2" e 1 parafuso de 3/16" x 1" com porca borboleta
- 2 suportes de trilho de cortina de ½" x 1 ½"
- 1 tampa de garrafa PET
- 1 garrafa PET de 2,5 litros
- Água ou areia

Procedimentos

1. As lentes da luneta e seus encaixes

   Os materiais críticos para a construção de uma luneta são as lentes, que são difíceis de encontrar e de preços elevados, por isso vamos usar lente de óculos no lugar da lente objetiva e um monóculo de fotografia no lugar da ocular.

   A distância focal (f) da lente é dada, em metros, pela seguinte equação f = 1/(grau da lente). Assim, se você quiser lente de 1 m de distância focal, compre a lente de 1 grau, se quiser lente de 0,5 m de distância focal, compre uma lente de 2 graus, ou seja, a distância focal (em metros) é o inverso do "grau", o qual tem que ser positivo e a lente incolor.

   O diâmetro original da lente é de 65 mm, mas é só pedir para o vendedor reduzir o diâmetro para 50 mm. Como é lente para luneta, ela deve ser incolor e de grau positivo.

   Quando for comprar a lente, leve junto uma luva, simples, branca, de tubo de esgoto (conexão de PVC) de 50 mm, (veja o item A da Figura 3.9). Solicite ao vendedor para ele reduzir o diâmetro da lente para 50 mm, para que ela se encaixe livremente dentro da luva.

   A segunda lente da luneta é chamada de ocular, atrás da qual se forma a imagem. Vamos usar a lente contida nos monóculos de fotografias (peça de letra J na Figura 3.9).

   Depois de revestidas as paredes internas do monóculo com cartolina preta e retirada a sua "alça", é só encaixar o monóculo dentro da bucha de redução, marrom de 40 mm x 32 mm (conexão de PVC), (peça de letra II' da Figura 3.9).

   A abertura retangular do monóculo deve ser introduzida na bucha marrom, no mesmo sentido que seria colocado um cano d'água, de 1", dentro da bucha. A frente retangular do monóculo se encaixa perfeitamente dentro da bucha (veja a Figura 3.9, apesar de fora de escala).

Para preencher os espaços laterais entre o monóculo e a bucha, use resina epoxi ou massa de modelar ou, simplesmente, papel amassado, para que o monóculo fique preso e não passe luz pelas laterais. A Figura 3.12 mostra à esquerda a bucha de redução, no meio o monóculo e à direita o monóculo encaixado na bucha.

Com a lente de óculos no lugar da lente objetiva e a lente do monóculo no lugar da lente ocular, estão improvisadas as partes mais difíceis de serem conseguidas da luneta, agora é só questão de encaixá-las nas extremidades de dois tubos que corram um dentro do outro.

2. A montagem da luneta

Pinte as paredes internas dos tubos DE, FG e H com tinta *spray* preto fosco ou forre-os internamente com cartolina preta, mas isto é opcional. Antes de pintá-las (ou revesti-las) coloque um anel de esparadrapo na extremidade E da parede interna do tubo DE e outro anel de esparadrapo na extremidade externa F do tubo GF (veja a Figura 3.9).

Depois de completada esta pintura, retire os dois anéis de esparadrapo acima mencionados, pois eles estarão sujos de tinta. No lugar do anel que estava na extremidade interna E, coloque tantos anéis sobrepostos de esparadrapo quantos forem necessários para que o tubo GF possa passar pela extremidade E do tubo DE e deslizar dentro deste sem muito esforço.

No lugar do anel de esparadrapo que estava na extremidade externa F, coloque tantos anéis de esparadrapos quantos forem necessários para que o tubo GF possa deslizar dentro do tubo ED sem precisar de esforço, mas sem escorregar sozinho se os tubos ficarem na vertical. Obviamente, será preciso fazer a extremidade G, do tubo GF, entrar pela extremidade D, do tubo ED e sair pela extremidade E, e, então, verificar se eles deslizam suavemente sem muito esforço.

Seqüência de montagem: coloque o tubo FG dentro do tubo ED, conforme descrito no parágrafo anterior. Coloque estes tubos

na vertical, com a extremidade D para cima. Sobre esta extremidade (D) coloque o disco de cartolina preta (C). A finalidade deste disco é diminuir a aberração cromática; este é o nome dado à dispersão da luz branca (separação de todas as cores) após ela passar pela lente. Sem este disco (C) nem a Lua é visível. Continuando a seqüência de montagem: sobre o disco C coloque a lente (limpe-a bem) com o lado convexo (veja letra B na Figura 3.9) para cima e, então, encaixe a luva A, conforme indicado na Figura 3.9. É importante que o corte da extremidade D do tubo tenha sido feito perpendicularmente ao eixo do tubo DE.

O monóculo J já está encaixado na bucha marrom II'. Pegue agora um pedaço de 10 cm de comprimento do próprio tubo branco de 40 mm de diâmetro (H) e encaixe uma extremidade na bucha II'e a outra extremidade na extremidade G do tubo GF. Mas, como este pedaço de tubo tem o mesmo diâmetro do tubo GF e o mesmo diâmetro da bucha marrom II', temos que serrar a parede deste pedaço de tubo ao longo do seu comprimento. Fazendo isso, devemos inserir a bucha marrom dentro do cano H e também devemos sobrepor cerca de 2 cm deste mesmo cano H na extremidade G do cano GF (veja Figura 3.10).

Como a imagem se forma a uns 4 cm ou 5 cm atrás da lente ocular, há um espaço de, aproximadamente, 4 cm entre a lente da ocular e a extremidade esquerda do tubo H (Figura 3.10), de modo que o observador poderá encostar o olho (ou sobrancelha) na extremidade esquerda do tubo H, pois lá estará se formando a imagem, (veja a Figura 3.13).

A imagem é invertida, afinal esta é uma luneta astronômica e, em astronomia, cabeça para baixo ou para cima é só uma questão de referencial.

A aproximação (ou aumento) que esta luneta proporciona é igual à razão entre a distância focal da objetiva pela distância focal da ocular, portanto: 50 cm / 4 cm = 12,5. Para duplicar este aumento e só encaixar mais um monóculo dentro daquele que está preso na bucha marrom. Não se esqueça de revestir

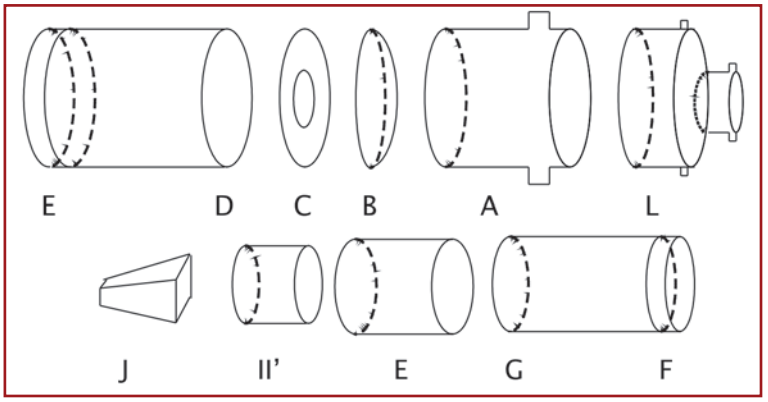
as paredes internas deste monóculo com a cartolina preta. Este revestimento e a pintura dos tubos DE e FG são para evitar a reflexão da luz dentro da luneta. Agora a imagem estará se formando a uns 2 cm da lente da ocular, por isso, neste caso, aumente a sobreposição (em cerca de mais 2 cm) do cano H sobre a extremidade G do cano GF, para que a imagem continue se formando rente à extremidade esquerda do cano H.

Como a bucha marrom e a extremidade F do cano GF possuem o mesmo diâmetro, o cano H fica aberto ao longo do seu comprimento. Recomendamos fechar esta abertura forrando-o com cartolina preta.

A peça L da Figura 3.9 é um plugue branco de esgoto de 5 cm e sua função é proteger a lente quando a luneta estiver fora de uso. Obviamente, esta peça é opcional.

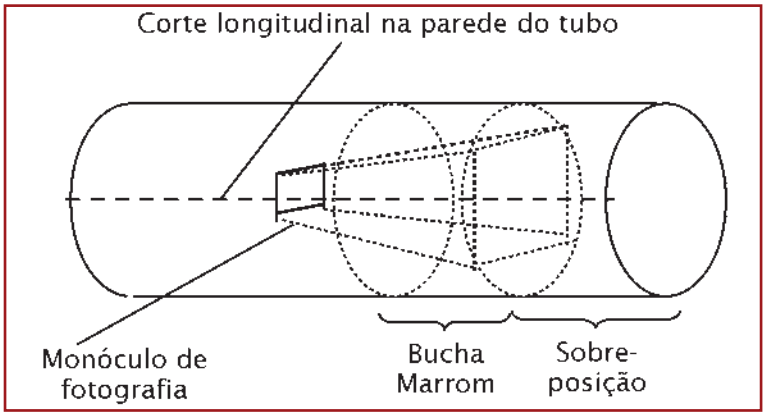
Como você rapidamente percebe ao usar a luneta, seu braço fica cansado ao segurar a luneta e a imagem treme muito. Se apoiar o braço em algo facilita a observação, mas o ideal é ter um tripé.

Desenvolvemos um tripé extremamente simples e que usa basicamente uma garrafa PET de 2,5 litros e dois suportes de fixação de trilhos de cortinas, conforme descrevemos na seção seguinte.



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 3.9. Esquema explodido da luneta. L é um plugue, A é a luva, B é a lente de óculos, C é um disco de cartolina, DE e FG são tubos brancos de esgoto de 50 mm e 40 mm de diâmetro, respectivamente, H é um tubo de 40 mm de diâmetro e 10 cm de comprimento, II' é uma bucha de redução e J é o monóculo de fotografia (ou visor de fotografia).



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 3.10. Peça H com a bucha de redução (II') e o monóculo de fotografia dentro dela.

3. O tripé

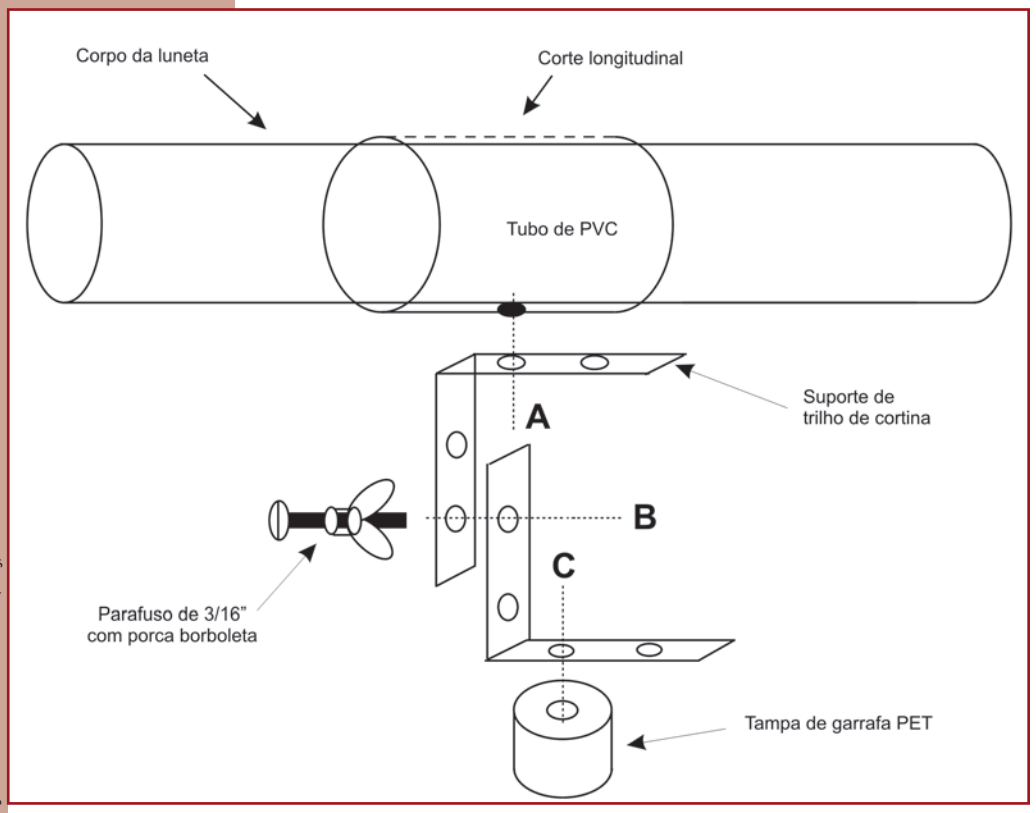
O corpo da luneta será apoiado num tubo com as mesmas características do tubo externo dela, mas com 10 cm de comprimento, com um corte ao longo de sua lateral e um furo na região central dele e oposto ao local do corte longitudinal, conforme mostra a parte superior da Figura 3.11.

Este tubo, que serve de suporte da luneta, deve ficar perpendicular ao suporte de trilho de cortina (Figura 3.11). Um parafuso de 3/16" x 1/2" com porca borboleta prende o suporte da luneta ao suporte de trilho de cortina (linha tracejada A) (Figura 3.11).

O suporte de trilho de cortina, sob o tubo de PVC, é conectado a outro igual a ele por outro parafuso igual ao acima descrito (este pode ter 1" de comprimento) e podem ser fixadas duas porcas borboletas em sentidos opostos, sendo uma de cada lado do suporte do trilho de cortina (linha tracejada B), para facilitar o apertar e afrouxar deste parafuso, pois o movimento vertical da luneta será obtido por meio da inclinação do suporte do trilho de cortina, que está debaixo do tubo de PVC.

O suporte do trilho de cortina inferior, por sua vez, será fixado numa simples tampa de garrafa PET (Figura 3.11) por outro parafuso, igual ao acima descrito, com porca borboleta ao longo da linha tracejada C. A tampa, por sua vez, deve

ficar numa garrafa PET, de preferência de 2,5 litros, completamente cheia de água (ou de areia), que não está desenhada na Figura 3.11. O movimento horizontal da luneta é obtido girando-se lentamente a tampa sobre a própria garrafa. A Figura 3.14 mostra esta peça já montada e a Figura 3.15 mostra a luneta montada e apoiada sobre seu tripé.



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 3.11. Esquema, fora de escala, da montagem do tripé sem o desenho da respectiva garrafa PET. O corpo da luneta representa o local onde ela se encaixa.

4. Conclusão

Esta luneta permite ver as crateras lunares e seu relevo, principalmente quando a observação é feita durante as noites de lua crescente ou minguante. Como a distância focal desta luneta é de 50 cm (= 2 graus) e aquela descrita por Canalle (1994)

tinha distância focal de 100 cm (= 1 grau), o aumento desta é de apenas 12,5 vezes, enquanto a outra era de 25 vezes.

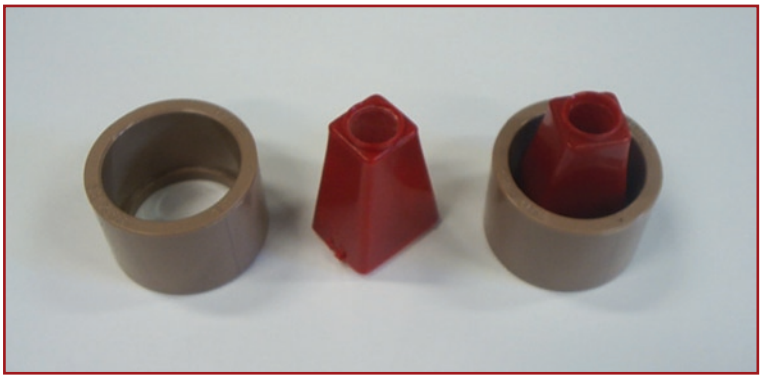
Este mesmo aumento pode ser obtido desde que se substitua o monóculo de fotografia por uma lente ocular de 20 mm de distância focal, mas como estas lentes não são de simples localização no comércio, preferimos descrever a montagem, ainda, usando o monóculo de fotografia.

A presente montagem também pode ser usada para se construir uma luneta com 100 cm de distância focal. Neste caso o tripé ainda funcionará bem, mas precisará de um pouco mais de paciência do observador, pois a vibração do conjunto como um todo será maior.

Com esta luneta o professor poderá desmitificar a complexidade da construção da luneta astronômica e terá um experimento didático que despertará a curiosidade dos alunos para o tema de astronomia que estiver sendo estudado. Além disso, devido ao baixíssimo custo da sua construção, nada impede que os alunos interessados possam fazer a própria luneta.

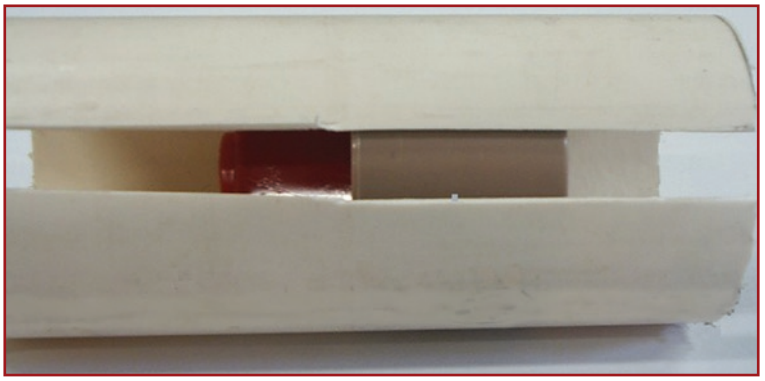
Recomendação importantíssima: não observe o Sol com a luneta, pois ficará cego.

Fotos ilustrativas da montagem da luneta com lente de óculos.



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 3.12. À esquerda a bucha de redução, no meio o monóculo e à direita o monóculo encaixado na bucha.



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 3.13. Mostra o monóculo inserido na bucha de redução e esta dentro do tubo H. Do lado esquerdo da figura pode-se ver a distância entre a ocular do monóculo e a extremidade esquerda do tubo H.

João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 3.14. Detalhe do tripé com a tampa de garrafa PET, dois suportes de cortina pequenos e sobre eles o "berço" da luneta, pois esta será encaixada neste tubo de PVC, o qual tem um corte longitudinal na sua parte superior, não visível na foto.

João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 3.15. Montagem completa da luneta apoiada em seu "berço" e este preso no suporte do trilho de cortina.

ESPECTROSCÓPIO SOLAR

Carlos Eduardo Quintanilha Vaz de Oliveira, com base nos trabalhos publicados por Maria Cristina P. Stella de Azevedo e Webster Spiguel Cassiano e João Batista Canalle (Uerj).

Apresentação

Ao lermos um livro de astronomia, várias vezes encontramos neste a composição química dos corpos celestes. Vemos que no Sol ela é, basicamente, constituída de hidrogênio, hélio e alguns outros elementos em pequena quantidade.

Uma pergunta nos vem à mente: como os astrônomos sabem do que são constituídas as estrelas, se não têm como analisar uma amostra retirada delas, já que estão tão longe e ao mesmo tempo são tão quentes?

A resposta é a seguinte: analisamos a luz que chega até nós, destes corpos, através de um aparelho chamado espectroscópio. Nesta análise, comparamos com resultados experimentais de elementos químicos que existem em nosso planeta e determinamos qual a composição química do objeto celeste que estamos observando.

Luz como fonte de observação astronômica

Quando fazemos passar a luz de uma lâmpada comum através de um prisma, ou até mesmo através de uma caneta esferográfica, verificamos que ela se decompõe em diversas cores. Estas cores vão do vermelho, passando pelo alaranjado, amarelo, verde, azul e violeta (as cores do arco-íris). A este conjunto de cores, obtido da decomposição da luz da lâmpada, denominamos espectro de luz.

Em especial, o espectro de luz de uma lâmpada comum, ou lâmpada de filamento, é denominado de espectro contínuo, ou seja, o espectro não apresenta nenhuma falha ou quebra quando é decomposto.

Já ao se analisar a luz de uma lâmpada fluorescente, verificamos que a luz se decompõe com as mesmas cores da lâmpada comum, mas seu espectro é diferente, apresenta algumas linhas bem definidas além do contínuo.

Este espectro (chamado de espectro de linhas) é diferente, porque a lâmpada fluorescente possui em seu interior um gás, o qual é excitado pela energia elétrica que passa por ele e o faz "acender". Em todo e qualquer gás excitado e que emite luz, encontraremos um espectro que é característico (também conhecido como impressão digital) do elemento constituinte do gás.

Ora, sabemos que as estrelas são bolas de gás incandescentes, então, se analisarmos a luz que chega delas, devemos encontrar um espectro de linhas!

Bem, as primeiras pessoas que analisaram o espectro de luz das estrelas não encontraram exatamente um espectro de linhas como os que eram observados em laboratório, mas observaram um espectro contínuo e com linhas escuras que coincidiam com linhas de elementos conhecidos em laboratório – e assim os elementos químicos das estrelas foram descobertos.

Um dos equipamentos que podemos usar para analisar a luz é o espectroscópio. Este aparelho decompõe a luz, a qual queremos analisar, em suas diversas cores (ou espectro).

Objetivos

1. Observar a decomposição da luz.
2. Descrever qualitativamente as diferentes freqüências (no visível) emitidas pelas fontes de luz do nosso cotidiano, inclusive o Sol.

Sugestão de problematização

Sabemos que existe uma variedade enorme de lâmpadas em nosso cotidiano, dos mais variados tamanhos, formatos, potências e cores, cada uma com sua finalidade. Por exemplo, com a luz negra os objetos refletem de maneira diferente de uma luz incandescente. O que diferencia essas lâmpadas e como devemos agir na escolha de uma lâmpada?

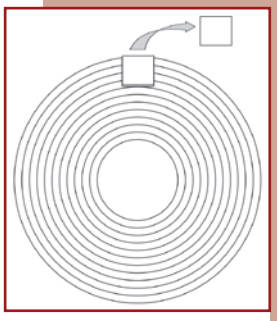
Materiais

- 1 caixa de sapato
- 1 pedaço de CD de aproximadamente 4 cm^2
- 1 estilete
- 1 tesoura
- Fita adesiva larga
- Papel cartão ou papelão (aproximadamente 10 cm x 5 cm)
- Cola branca

Procedimentos

Como fazer

1. Primeiro temos que aproveitar as grades de difração do CD de modo que elas fiquem o mais paralelas possível. Para isso, vamos usar a borda do CD, cortando um pedacinho de 2 cm x 2 cm. Antes de cortar, deve ser arrancada a cobertura (a película na qual ficam gravados os dados que seriam lidos futuramente) usando um pedaço da fita adesiva.
2. Faça, com o estilete, um corte quadrado (aproximadamente 3 cm x 3 cm) do lado direito da tampa da caixa de sapato.
3. O arco-íris (espectro) forma um ângulo com a superfície do CD. O primeiro



Leonardo Nemer (AEB/Programa AEB Escola).

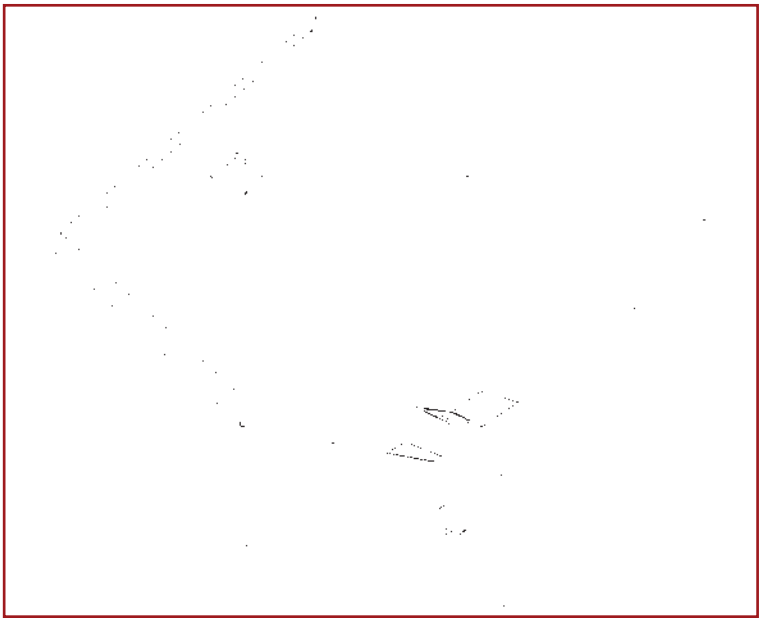
Figura 3.16. Esquema mostrando onde deve ser cortado o pedaço do CD.

Carlos Eduardo Quintanilha Vaz de Oliveira.

Figura 3.17. Como deve ser o recorte do CD.

máximo da interferência se dá para o lado esquerdo, por isso o quadrado deve ficar do lado direito.

4. Ainda com o estilete, faça uma abertura para observação em um dos lados de menor área da caixa de sapato.
5. Faça um "cavalete" com o papel cartão: corte um pedaço do papelão de aproximadamente 5 cm x 10 cm e dobre em quatro. Ele ficará com largura de 5 cm e comprimento de 2,5 cm, como segue → _/_.
6. Cole o pedaço de CD em uma das laterais do cavalete. Cole o cavalete bem embaixo do buraco na tampa da caixa e com o pedaço de CD em oposição ao orifício de observação. Desta maneira, a reflexão direta da luz se dará próxima à quina da caixa e o arco-íris se formará, aproximadamente, no centro do lado menor da caixa que não está cortado.
7. Pode-se passar uma fita isolante nas arestas da caixa para uma maior vedação da luz, mas isso pode impossibilitar eventuais "reparos" no instrumento.



Leonardo Nemer (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 3.18. Esquema do espectroscópio montado.

Como utilizar

Deixe a luz de alguma fonte (pode ser até o Sol) passar pelo corte da tampa e refletir sobre o pedaço de CD, que vai decompor a luz desta fonte nas várias cores do espectro visível. Anote e compare os vários espectros que você coletou com seu espectroscópio, usando a tabela a seguir.

Fonte de Luz	Espectro		Representação da imagem observada	Cores que se destacam
	Junto (contínuo)	Separado (discreto)		
Vela	(X)	( )	V L A V A A V	Da esquerda para a direita: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta.
Lâmpada incandescente	( )	( )		
Lâmpada fluorescente compacta	( )	( )		
Lâmpada de vapor de mercúrio	( )	( )		
Lâmpada mista (logo ao ligá-la)	( )	( )		
Lâmpada mista (depois de aquecida)	( )	( )		
Luz negra	( )	( )		
Letreiros luminosos (lâmpadas de neon)	( )	( )		
Postes de iluminação pública (_____)*	( )	( )		
Lanternas traseiras de automóveis	( )	( )		
Sol (CUIDADO! Não olhe para ele!)	( )	( )		
	( )	( )		
	( )	( )		

* Pesquise e escreva que tipo de lâmpada você observou. Normalmente, esses postes estão equipados com lâmpadas de vapor de mercúrio (brancas/levemente azuladas) ou vapor de sódio (amarelas).

Orientações complementares

Usos do espectroscópio

As freqüências emitidas pelos objetos indicam a sua constituição, como uma assinatura ou impressão digital. As freqüências mais altas, como raios X e raios γ, estão relacionadas a fenômenos muito energéticos. O infravermelho está associado ao calor emitido pelo objeto.

Assim, cientistas usam os espectros dos corpos para estudar do que eles se compõem e quais propriedades físicas e/ou químicas eles possuem.

Possíveis desdobramentos

Professor/a, a partir dessa atividade, é possível desencadear novos estudos, estimular a leitura e a produção de textos na escola, ou ainda o estudo de conteúdos específicos de sua disciplina ou em projetos multidisciplinares, como, por exemplo:

- Estudar uma relação entre os espectros das lâmpadas e suas potências, procurando assim o modelo de lâmpada mais eficiente.
- Em algumas lâmpadas fluorescentes aparece na embalagem um número do tipo 6.000K (que é uma temperatura). Como esta temperatura se relaciona com a cor da lâmpada?
- Estudar a relação entre a cor que enxergamos a lâmpada e a mudança de estado energético do elétron dentro do átomo.
- Estudar as cores, principalmente com a motivação da descoberta do branco. Por que alguns brancos são mais brancos que outros?

DESAFIOS

PARTE I

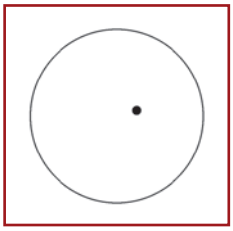
João Batista Garcia Canalle (Uerj) e Luiz Bevilacqua (UFABC).

1. Sobre a superfície do Sol quase sempre podemos observar manchas escuras, chamadas manchas solares, que são regiões de menor temperatura, cerca de 3.000 ^{o}C, e de intensos campos magnéticos. Estas manchas não são fixas nem perenes, mas aparecem, migram sobre a superfície do Sol, juntam-se a outras e depois desaparecem.

   Suponha que numa simples observação do Sol, por projeção, que é o método mais seguro para se observar o Sol, num determinado dia, viu-se a imagem ao lado, onde a região escura, que para simplificar colocamos na forma circular, representa uma mancha solar.

   Qual é o diâmetro aproximado da mancha em questão?

   Aproximadamente, quantas vezes o diâmetro da mancha é maior do que o diâmetro da Terra?



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

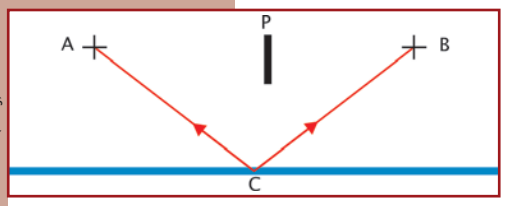
Figura 3.19. Disco do Sol.

   Resposta: Meça o diâmetro (D) do disco do Sol representado pela Figura 3.19 e o diâmetro (d) da mancha na figura. Sabemos que o diâmetro do Sol é de 1.390.000 km. Assim sendo, o diâmetro real da mancha é = 1.390.000 x d/D = 63.800 km. Sendo o da Terra de 12.760 km, então, 63.800/12.760 = 5, ou seja, a mancha tem 5 vezes o diâmetro da Terra. Provavelmente você não vai obter estes resultados exatos, pois o erro na medida de d é relativamente grande.

2. No século XVII registrou-se o diálogo entre dois sábios da época que, resumidamente, foi o seguinte:

I.N. Observe como é singular a propagação de um raio luminoso: aparece sempre e invariavelmente como uma reta. A luz tem propriedades peculiares e eu te digo que ela se propaga sempre em linha reta.

F. Creio que há uma imprecisão no que dizes, pois, se considerares que a luz se reflete num espelho, ela pode ir de um ponto a outro (de A para B na Figura 3.20) num percurso que não é exatamente uma reta, embora tu possas dizer que é formado por vários segmentos de reta. De qualquer forma tua asserção não é precisa.



João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 3.20. Mostra a reflexão da luz em um espelho.

I.N. Estás correto, vou reformular minha declaração: um raio luminoso propaga-se numa trajetória composta de segmentos de reta que corresponde à mínima distância entre dois pontos e que não viola os obstáculos interpostos entre esses dois pontos.

Assim, na figura que tu desenhaste, com o obstáculo representado pela placa P, o raio luminoso partindo de A chega a B refletido no espelho E de modo que a distância ACB seja mínima.

F. Embora tua afirmação agora aparentemente resolva o problema, pois generalizaste a solução, ainda assim precisas demonstrar essa afirmação. Digo que resolve aparentemente porque eu creio que não está correto o que dizes em termos gerais. Vale apenas para casos particulares. Eu afirmo que a luz se propaga de modo a minimizar o tempo que leva para ir de um ponto a outro.

a. Qual a sua análise com respeito às afirmações deste diálogo?

b. Quem tem razão e por quê?

3. As constelações são aparentes agrupamentos de estrelas. Aparentes porque de fato as estrelas não estão próximas entre si. Elas apenas estão numa mesma região do céu e como visualmente não temos como identificar as distâncias delas à Terra, elas parecem estar próximas entre si. Pois bem, no céu do Hemisfério Sul temos a constelação do Cruzeiro do Sul, a qual é muito famosa e até aparece em várias bandeiras nacionais.

   O Cruzeiro do Sul é visível de quase todo o território brasileiro e é mais facilmente visível no inverno, quando ele está mais "alto" no céu.

   Identifique na Figura 3.21 a seguir a constelação do Cruzeiro do Sul. **Cuidado!** Não se deixe enganar pelo "falso Cruzeiro do Sul".

João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 3.21. Representação do céu no Hemisfério Sul.

PARTE II

Questões de várias edições da Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA). As respostas estão no sítio da OBA: www.oba.org.br/.

1. (IX OBA, 2006 – 3º e 4º ano). Qual é o lugar mais quente do Sol? Dentro dele ou na sua superfície?
2. (VIII OBA, 2005 – 3º e 4º ano). O Sol é uma grande bola de fogo. É um fogo diferente deste que temos aqui na Terra. Na Lua não tem fogo. Os astronautas até já andaram sobre ela. Então, por que a Lua brilha durante a noite?
3. (V OBA, 2002 – 5º ao 9º ano). Imagine que, de repente, a Terra passasse a girar muito mais perto do Sol do que gira atualmente, tal como fazem os planetas descobertos ao redor de outras estrelas. Escreva o que você acha que aconteceria com as pessoas, animais, plantas, com as águas dos rios e mares se isso acontecesse. Por que você achou isso?
4. (VIII OBA, 2006 – 5º ao 9º ano). Sobre o globo terrestre são colocadas algumas linhas imaginárias, como, por exemplo: Círculo Polar Ártico, Trópico de Câncer, Equador terrestre, Trópico de Capricórnio e Círculo Polar Antártico. Pois bem, na Rodovia dos Trabalhadores, no Estado de São Paulo, tem uma placa que diz: "Aqui passa o Trópico de Capricórnio". Claro que ele passa ali e em todos os pontos da Terra que estão à mesma latitude, ou seja, à mesma distância angular do equador. Na verdade esta linha cruza 3 continentes e 11 países. O Brasil é tão grande que tem outra linha imaginária que passa por ele.

a. Veja a coincidência: num certo dia eu estava dirigindo pela Rodovia dos Trabalhadores e, quando passei pela dita placa, vi que ela não tinha nenhuma sombra! E era um dia ensolarado! Qual era a hora solar verdadeira quando eu passei pela placa "Aqui passa o Trópico de Capricórnio"?

b. Que ângulo o Sol fazia com o horizonte naquele instante?

SALA DE PESQUISA

Artigos/Livros

REED, J. **10 Dias que abalaram o mundo.** Porto Alegre: L&PM Pocket, 2002, 376 p.

SANTOS DUMONT, A. **O que eu vi. O que nós veremos.** São Paulo: Ed. Hedra, 1918, 147 p.

YENNE, B. **100 invenções que mudaram a história do mundo.** Rio de Janeiro: Ediouro, 2003, 220 p.

Sítios

Telescópios utilizáveis remotamente –
http://www.phy.duke.edu/~kolena/imagepro.html/

Para agendar observações no Brasil com telescópios –
http://www.das.inpe.br/miniobservatorio/obsremotas/index.htm/

Impacto de meteoros

http://janus.astro.umd.edu/astro/impact/

http://impact.arc.nasa.gov/

Filmes

Hiroshima

Treze Dias que Abalaram o Mundo

Reds

1492 – Conquista do Paraíso

Documentário: Dias que Abalaram o Mundo – vol. 4 (Julgamento de Galileu, Gagarin: O Primeiro Homem no Espaço).

Documentário: Hubble 15 Anos de Descobertas (a história do Hubble, o Hubble visto de perto, lendas planetárias, a vida das estrelas, colisões cósmicas, monstros no espaço, ilusões gravitacionais, nascimento e morte do universo, olhando para o fim do tempo).

Série Cosmos: Carl Sagan

Episódio 1: As Margens do Oceano Cósmico

Episódio 2: Uma Voz no Mundo Cósmico

Episódio 3: A Harmonia dos Mundos

Episódio 4: Céu e Inferno

Episódio 5: O Planeta Vermelho

Episódio 6: Navegantes do Universo

Episódio 7: O Esqueleto da Noite

Episódio 8: Viagens pelo Tempo e Espaço

Episódio 9: A Vida das Estrelas

Episódio 10: O Limite da Eternidade

Episódio 11: A Persistência da Memória

Episódio 12: Enciclopédia Galática

Episódio 13: Qual o Futuro da Terra?

Rogério Castro (AEB/Programa AEB Escola).

conclusão

A evolução do conhecimento astronômico ao longo das eras é algo que deve ser visto como motivo de grande orgulho para a raça humana. A despeito de todas as nossas mazelas, nossas guerras, disputas infantis, conflitos de interesses, conseguimos, por meio de nosso intelecto aguçado e nossa curiosidade insaciável, estabelecer uma versão muito aproximada (ainda que não totalmente precisa) da história da evolução do Universo inteiro. Nossa compreensão das leis da física nos permitiu não só mergulhar no passado longínquo do cosmos – em épocas muito anteriores ao surgimento de nossa espécie ou mesmo de nosso planeta –, mas também abriu uma vasta janela na direção do futuro, com especulações precisas de como as coisas continuarão evoluindo pelo Universo afora.

O mais importante nesse processo de conhecimento, entretanto, não é o acúmulo de informações, mas sim a sabedoria que ele carrega consigo. Por meio da astronomia, podemos não só compreender o Universo, mas – o que é realmente digno de nota – conseguimos perceber nosso papel dentro dele. A astronomia oferece um contexto para a existência humana, um contexto que traz consigo um significado paradoxal: somos, ao mesmo tempo, pequeninos e gigantes nesses espaços infinitos.

O lado pequenino é mais fácil de compreender: diante da vastidão quase incalculável (e certamente inimaginável) do Universo observável, somos menos que grãos de areia, entidades simples cujo destino individual é inconseqüente para a sobrevivência da praia em que eles estão contidos. A astronomia nos traz essa convicção

de que devemos reverenciar um mundo que é tão maior que nós – e vastamente maior que o mundo visto pelos antigos, que tinham o planeta Terra como tudo que existia de fato ao alcance do homem.

Paradoxalmente, é justamente dessa mudança na visão de mundo que nasce o lado da grandeza. Somos gigantes porque, uma vez que entendemos nossa posição pequenina nesse imenso contexto, podemos usufruir dela – após compreender a natureza, passamos a transformá-la, para atingir nossos próprios objetivos.

Isso se traduz no que poderia ser visto como uma continuação da astronomia: a astronáutica.

Definida tecnicamente como a arte e a ciência da navegação pelo espaço, ela é muito mais do que isso. Ela reflete esse desejo pós-astronômico de exploração. Depois de termos revelado, com o auxílio de mentes argutas e telescópios construídos com toda a precisão possível, tantas maravilhas que existem no espaço, e termos nos perguntado sobre os mistérios que o espaço ainda oculta de nossa vista, é chegada a hora de colocarmos nossa criatividade a serviço de como adentrá-lo e revelar todos os segredos e potencialidades ali represados.

Ao chegarmos a essa conclusão, descobrimos que ela nada mais é do que uma porta de entrada para um mundo bem maior – uma rota na direção do infinito.

Como não poderia deixar de ser, esse salto, como todo grande salto na história da espécie humana, passa por uma auto-reavaliação. Ao irmos ao espaço, não só aprendemos mais sobre os mundos que existem lá fora, como também adquirimos uma renovada apreciação do nosso próprio mundo. A Terra ganha novos contornos, e a humanidade que nela habita encontra um novo entendimento de sua importância, de quão especial ela é e de como é imperativo preservar as riquezas nela contidas. No mínimo, só de vermos nosso mundo de origem como um globo pequenino e distante, já aprendemos uma lição valiosa: a Terra é finita. Não pode ser explorada indefinidamente sem se esgotar.

A astronáutica também é uma forma de testar os limites humanos e responder a uma pergunta quase tão intrigante quanto a que diz respeito às nossas origens: até onde devemos ir? Será que devemos, com nossa crescente capacidade tecnológica, colonizar outros mundos? Até onde podemos ir em nossa busca por vida extraterrestre, por sinais de que não estamos sozinhos nessa escura vastidão do Universo?

É o tipo de questionamento que só pode ser respondido por experimentação – usando o rigor dos preceitos científicos de investigação da natureza. E é isso que estivemos fazendo desde 1957, quando colocamos o primeiro satélite artificial em uma órbita ao redor da Terra – estivemos experimentando.

Assim, este livro não poderia terminar de outra maneira que não fosse um convite. No Volume sobre astronáutica desta mesma coleção, abordaremos todas as possibilidades – das mais banais às mais fantasiosas – abertas pela exploração espacial.

Nossa jornada pelo mundo da astronomia jamais estaria completa sem isso. Considere-se, portanto, convidado a prosseguir nesta viagem. O ponto de parada é incerto, e, de antemão, alertamos: não há garantias. Lançar foguetes rumo ao espaço é um negócio delicado e perigoso. O único conforto que se tira dessas atividades tão arriscadas é a convicção de que a aventura humana está apenas começando.

E, convenhamos, nada como uma boa aventura para fisgar alunos. Chegou a hora de mostrar quão entusiasmante e fascinante pode ser o mundo da ciência.

Ad astra, per aspera!
[Aos astros, por árduos caminhos!]

REFERÊNCIAS

ADAMS, Fred; LAUGHLIN, Greg. **Uma biografia do Universo**: do big bang à desintegração final. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2001.

ARISTÓTELES. ***Meteorology.*** Tradução de E.W. Webster. Adelaide: University of Adelaide, 2004.

ASHCROFT, Frances. **A vida no limite.** Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2001.

BARBER, David J.; SCOTT, Edward R. D. Origin of supposedly biogenic magnetite in the Martian meteorite Allan Hills 84001. ***Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America***, v. 99, n. 10, May 14, 2002, p. 6556-6561.

BARCELOS, Eduardo Dorneles. **Telegramas para Marte.** Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2001.

BELTRAME, Z. V. **Geografia ativa – investigando o ambiente do homem**. São Paulo: Ed. Ática,1996, v. 1.

BERGREEN, Laurence. **Viagem a Marte.** Rio de Janeiro: Objetiva, 2002.

BIZZO, N. et al. **Graves erros de conceito em livros didáticos de ciências**. Ciência Hoje, v. 21, n. 121, p. 26 – 35, 1996.

BOTTKE, William et al. (eds). **Asteroids III.** Tucson: The University of Arizona Press, 2003.

BROOKS, Courtney G.; ERTEL, Ivan D. ***The Apollo spacecraft chronology.*** Washington: Nasa, V. III, 1973. (Nasa-SP-4009, 1973).

BROWNLEE, Donald; WARD, Peter. ***Rare Earth.*** New York: Copernicus Books, 2000.

_____. ***The life and death of planet Earth.*** New York: Times Books, 2003.

BRYSON, Bill. ***A short history of nearly everything.*** New York: Broadway Books, 2003.

CAMPBELL, Bruce et al. Radar imaging of the lunar poles. ***Nature***, v. 426, p. 708-12, 2003.

CANALLE, J.B.G, A luneta com lente de óculos. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 11, n. 3, p. 212- 220, dez. 1994.

CANALLE, J.B.G.; TREVISAN, R.H.; LATTARI, C.J.B. **Análise do conteúdo de astronomia dos livros de geografia de 1º grau.** Cad. Cat. Ens. Fís., v. 14, n. 3, p. 254 – 263, dez. 1997.

CANUP, Robin M.; ASPHAUG, Erik. Origin of the Moon in a giant impact near the end of the Earth's formation. ***Nature***, v. 412, p. 708-12, 2001.

CHAPMAN. Clark R.; POLLACK, James B.; SAGAN, Carl. ***An analysis of the Mariner 4 photographs of Mars.*** Washington: Smithsonian Astrophysical Observatory, 1968. (Special Report 268).

CHAPMAN. Clark R. et al. ***The comet/asteroid impact hazard***: a systems approach. Boulder: Office of Space Studies, Southwest Research Institute, 2001.

_____. Perspectives on the impact hazard in a dangerous world. In: American Association for the Advancement of Science, Annual Meeting, 169. Denver, Colorado. ***Proceedings…*** Denver: AAAS, 2003.

CHRISTIANSON, Gale E. Kepler's somnium: science fiction and the renaissance scientist. ***Science Fiction Studies***, v. 3, Part 1. Greencastle, 1976.

CLARKE, Arthur C. ***The exploration of space.*** Bristol: Pelican Books, 1958.

_____. Extra-terrestrial relays. ***Wireless World***, Oct., p. 305-308, 1945.

CLARKE, Lee. Responding to panic in a global impact catastrophe. In: American Association for the Advancement of Science, Annual Meeting, 169. Denver, Colorado. ***Proceedings…*** Denver, Colorado: AAAS, 2003.

COCCONI, Giuseppe; MORRISON, Philip. Searching for insterstellar communications. ***Nature***, v. 184, 1959, p. 844-6.

COLLINS, Michael. ***Mission to Mars.*** Nova York: Grove Press, 1990.

Columbia accident investigation board report, V. I. Washington: Nasa, 2003.

COSTA FILHO, Edmilson. **Política espacial brasileira.** Rio de Janeiro: Editora Revan, 2002.

DARLING, David. ***The complete book of spaceflight.*** Nova York: John Wiley & Sons, 2002.

DUNAR, Andrew. J.; WARING, Stephen P. ***Power to explore***: a history of marshall space flight center, 1960-1990. Washington: US Government Printing Office, 1999.

ERTEL, Ivan D.; MORSE, Mary Louise. ***The Apollo spacecraft chronology***, v. 1. Washington: Nasa, 1969. (Nasa-SP-4009).

ERTEL, Ivan D.; NEWKIRK, Roland W. ***The Apollo spacecraft chronology***, v. 4. Washington: Nasa, 1978. (Nasa-SP-4009).

European Space Agency (ESA). ***CDF study executive summary*** – Human missions to Mars: overall architecture assessment. Köln, 2004. CDF-20(C).

EZELL, Linda; EZELL, Edward. ***The partnership***: a history of the Apollo-Soyuz test project. Washington: Nasa, 1978. (Nasa-SP-4209).

FERRIS, Timothy. **O despertar na Via Láctea** – uma história da astronomia. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1990.

FORWARD, Robert. The stars our destination? The feasibility of interstellar travel. ***The Planetary Report, Special Interstellar Flight Issue***, v. 23, n. 1, Jan./Feb. 2003.

FRASER, Gordon. ***Antimatter***: the ultimate mirror. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

FRIEDMAN, Louis. ***Starsailing***: solar sails and interstellar travel. Hoboken: John Wiley & Sons, 1988.

_____. To the Stars. ***The planetary report, Special Interstellar Flight Issue***, v. 23, n. 1, Jan./Feb. 2003.

GALILEU, Galilei. **Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico & copernicano.** São Paulo: Discurso Editorial/Fapesp, 2001.

_____. ***The sidereal messenger*.** Tradução de Edward Stafford Carlos. London: Dawsons of Pall Mall, 1880.

GARBER, Stephen J. ***Looking backward, looking forward: forty years of US human spaceflight symposium.*** Washington: Nasa, (Nasa-SP-2002-4107).

GREENE, Brian. **O universo elegante.** São Paulo: Companhia das Letras, 2001.

GRINSPOON, David H. ***Venus revealed*:** a new look below the clouds of our mysterious twin planet. Nova York: Perseus Publishing, 1997.

_____. **Planetas solitários:** a filosofia natural da vida alienígena. São Paulo: Editora Globo, 2005.

HACKER, Burton C.; GRIMWOOD, James M. ***On the shoulders of titans***: a history of project Gemini. Washington: Nasa, 1977. (Nasa-SP-4203).

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; KRANE, Kenneth S. **Física 4**. Rio de Janeiro: LTC, 2004. 412p.

HARFORD, James K. ***Korolev's triple play***: Sputniks 1, 2, and 3. Washington: Nasa Headquarters – Sputnik 40th anniversary, 1997.

HEPPENHEIMER, T. A. ***The space shuttle decision*** – Nasa's search for a reusable space vehicle. Washington: Nasa, 1999. (Nasa-SP-4221).

HOFFERT, Martin I. et al. Advanced technology paths to global climate stability: energy for a greenhouse planet. ***Science***, v. 298, p. 981-7, 2002.

HOFFMAN, Stephen J.; KAPLAN, David I. (eds). ***Human exploration of Mars***: the reference mission of the Nasa Mars exploration study team. Houston: Nasa, 1997. (Nasa-SP-6017).

JEDICKE, Robert. Intermediate impact factors. ***Nature***, v. 420, p. 273-4, 2002.

KAKU, Michio. **Hiperespaço**. Rio de Janeiro: Rocco, 2000.

_____. **Visões do futuro.** Rio de Janeiro: Rocco, 2001.

KANT, Immanuel. ***Universal natural history and theory of heaven.*** Trad. Ian C. Johnston. Nanaimo: [s.n], 1998.

KORYCANSKY, Donald G.; LAUGHLIN, Gregory; ADAMS, Fred C. Astronomical engineering: a strategy for modifying planetary orbits. ***Astrophysics and Space Science***, v. 275, p. 349-66, 2001.

KRAUSS, Lawrence M. **A física de Jornada nas Estrelas.** São Paulo: Makron Books, 1997.

KRING, David A.; COHEN, Barbara A. Cataclysmic bombardment throughout the inner solar system 3.9-4.0 Ga. ***Journal of Geophysical Research*** (Planets), v. 107, n. E2, p. 4-1– 4-6, 2002.

LAUNIUS, Roger D. ***Sputnik and the origins of the space age.*** Washington: Nasa Headquarters – Sputnik 40th Anniversary, 1997.

LEWONTIN, Richard. **A tripla hélice.** São Paulo: Companhia das Letras, 2002.

LINS DE BARROS, Henrique. **Santos Dumont e a invenção do vôo.** Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2003.

LOWELL, Percival. ***Mars.*** Boston: Houghton-Mifflin, 1895 (reedição eletrônica, Universidade da Virgínia, 2000).

MAGUEIJO, João. **Mais rápido que a velocidade da luz.** Rio de Janeiro: Editora Record, 2003.

MALIN, Michael; EDGETT, Kenneth S. Evidence for recent groundwater seepage and surface runoff on Mars. ***Science***, v. 288, p. 2330-5, 2000.

MAYER, Lucio et al. Formation of giant planets by fragmentation of protoplanetary disks. ***Science***, v. 298, p. 1756-9, 2002.

MAZANEK, Daniel C. et al. Comet/asteroid protection system (CAPS): A spacebased system concept for revolutionizing Earth protection and utilization of near-Earth objects. In: International Astronautical Congress, 53, 2002. Houston. ***Proceedings…*** Houston: AIAA, 2002.

MCKAY, Christopher P. e MARINOVA, Margarita M. The physics, biology, and environmental ethics of making Mars habitable. ***Astrobiology***, v.1, p. 89-109, 2001.

MCKAY, David S. et al. Search for past life on Mars: Possible relic biogenic activity in martian meteorite ALH84001. ***Science***, v. 273, p. 924-30, 1996.

MENDELL, W. W. ***Lunar bases and space activities of the 21st century.*** Houston: The Lunar and Planetary Institute, 1986.

MOLTZ, James Clay (ed.). ***Future security in space***: commercial, military, and arms control trade-offs. Monterey: Monterey Institute of International Studies, 2002.

MORSE, Mary Louise; BAYS, Jean Kernahan. ***The Apollo spacecraft chronology***, v. 2. Washington: Nasa, 1973. (Nasa-SP-4009).

MORRISON, David. Overview of the impact hazard. In: AAAS Annual Meeting, 169, Denver, 2003. ***Proceedings…*** Denver: AAAS, 2003.

MOURÃO, Ronaldo Rogério de Freitas. **Dicionário enciclopédico de astronomia e astronáutica**. 1 ed. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1987.

MOURÃO, Ronaldo Rogério de Freitas. **O livro de ouro do Universo.** Rio de Janeiro: Ediouro, 2000.

_____. **A astronomia na época dos descobrimentos.** Rio de Janeiro: Lacerda Editores, 2000.

_____. **Astronáutica**: do sonho à realidade. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

MUELLER, Karl P. **Totem and taboo**: Depolarizing the space weaponization debate. Arlington: RAND, 2002.

_____. ***Is the weaponization of space inevitable?*** Arlington: RAND, 2002.

MÜNKER, Carsten et al. Evolution of planetary cores and the Earth-Moon system from Nb/Ta systematics. ***Science***, v. 301, p. 84-7, 2003.

NAVARRO-GONZÁLEZ, Rafael et al. Mars-like soils in the Atacama desert, Chile, and the dry limit of microbial life. ***Science***, v. 302, p. 1018-21, 2003.

NOGUEIRA, Salvador. **Rumo ao infinito**: passado e futuro da aventura humana na conquista do espaço. São Paulo: Editora Globo, 2005.

_____. **Conexão Wright-Santos Dumont**: a verdadeira história da invenção do avião. Rio de Janeiro: Editora Record, 2006.

PORTREE, David S. F. ***Mir hardware heritage.*** Houston: Nasa, 1995. (Nasa-RP-1357).

PORTREE, David S. F.; TREVIÑO, Robert C. ***Walking to Olympus***: an EVA chronology. Washington: Nasa, 1997. (Nasa Monographs in Aerospace History Series #7).

PRESTON, Bob et al. ***Space weapons, Earth wars.*** Santa Monica: RAND, 2002.

RAEBURN, Paul. ***Mars***: uncovering the secrets of the red planet. Washington: National Geographic Society, 1998.

REES, Martin. ***Our final hour.*** New York: Basic Books, 2003.

Report by the International Space Station (ISS) Management and Cost Evaluation (IMCE). Task Force to the Nasa Advisory Council. 2001.

Report of the Task Force on potentially hazardous Near Earth Objects. London: British National Space Centre, 2000.

RUMERMAN, Judy A. U.S. ***human spaceflight, a record of achievement, 1961-1998.*** Washington: Nasa, 1998. (Nasa Monographs In Aerospace History Series #9).

SAGAN, Carl. **Pálido ponto azul.** São Paulo: Companhia das Letras. 1996.

_____. **O mundo assombrado pelos demônios.** São Paulo: Companhia das Letras, 1996.

_____. **Cosmos.** Rio de Janeiro: Editora Francisco Alves, 1983.

_____. **Bilhões e bilhões.** São Paulo: Companhia das Letras, 1998.

SHEEHAN, William. ***The planet Mars***: a history of observation and discovery. Tucson: The University of Arizona Press, 1996.

SIDDIQI, Asif A. ***Deep space chronicle***: a chronology of deep space and planetary probes (1958-2000). Washington: Nasa, 2002. (Nasa Monographs in Aerospace History Series #24).

_____. ***Korolev, Sputnik, and the international geophysical year.*** Nasa Headquarters – Sputnik 40th Anniversary. Washington: Nasa, 1997.

SIGURDSSON, Steinn. A young white dwarf companion to pulsar B1620-26: evidence for early planet formation". ***Science***, v. 301, p. 193-6, 2003.

SIMAAN, Arkan; FONTAINE, Joëlle. **A imagem do mundo.** São Paulo: Companhia das Letras, 2003.

SLOOP, John L. ***Liquid hydrogen as a propulsion fuel, 1945-1959.*** Washington: Nasa, 1978.

SMITHERMAN, David. ***Space elevators***: an advanced Earth-space infrastructure for the new millenium. Washington: Nasa, 2000.

SOMMER, Geoffrey. Policy frameworks for impact mitigation. In: AAAS Annual Meeting, 169, 2003, Denver. ***Proceedings...*** Denver, AAAS, 2003.

SPITALE, Joseph N. Asteroid hazard mitigation using the yarkovsky effect. ***Science***, v. 296, p. 77, 2002.

The Spaceguard Survey. Moffett Field: Nasa Ames Space Science Division, 1992.

SWENSON, Jr. Loyd S.; GRIMWOOD, James M.; ALEXANDER, Charles C. ***This new ocean***: a history of project Mercury. Washington: Nasa, 1966. (Nasa-SP-4201).

TERZIAN, Yervant; BILSON, Elizabeth (orgs.). **O universo de Carl Sagan.** Brasília: Editora UnB, 2001.

TREVISAN, R.H.; LATTARI, C.J.B.; CANALLE, J.B.G. **Assessoria na avaliação do conteúdo de astronomia dos livros de ciências do primeiro grau**. Cad. Cat. Ens. Fís., v. 14, n. 1, p. 7, 1997.

TURNER, Russ. Human space flight – a matter of safety. ***Space News***, v. 12, n. 26, p. 14, 2 July, 2001.

WALLACE, Alfred Russel. ***Is Mars habitable?*** Londres: Macmillan, 1907.

YEFFETH, Glenn (org.) **A pílula vermelha**: questões de ciência, filosofia e religião em Matrix. São Paulo: Publifolha, 2003.

YOUNG, Laurence R. The international space station at risk. ***Science***, v. 296, p. 429, 2002.

ZUBRIN, Robert. ***The case for Mars.*** Nova York: Free Press, 1996.

APÊNDICE

OLIMPÍADA BRASILEIRA DE ASTRONOMIA E ASTRONÁUTICA (OBA)

Ivette Maria Soares Rodrigues (AEB/Programa AEB Escola) e João Batista Garcia Canalle (Uerj).

A Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA) é um evento promovido pela Sociedade Astronômica Brasileira (SAB) e pela Agência Espacial Brasileira (AEB/MCT), tendo por objetivo divulgar a astronomia e as atividades espaciais do Brasil e do mundo nas escolas do País.

A OBA atua como recurso pedagógico que, além de informar alunos e professores, atinge o louvável objetivo de cativar o interesse pela ciência entre os jovens, contribuindo para a descoberta de talentos, pois os estudantes têm a oportunidade de entrar em contato com pesquisadores da astronomia e da astronáutica, conhecendo as possibilidades de uma carreira nestas áreas.

Embora a OBA esteja voltada para a participação dos estudantes, suas ações são direcionadas para orientar a correta formação dos professores quanto aos conteúdos de astronomia e Astronáutica. Neste sentido, são enviados materiais educacionais para todas as escolas participantes da OBA, além das próprias provas e gabaritos, que são verdadeiros enunciados informativos.

Acervo EMEF Prof. Firmo Antônio de Camargo Del Fiol. Disponível em www.oba.org.br/

Figura 1. Alunos da EMEF Prof. Firmo Antônio de Camargo Del Fiol do Tatuí, SP, realizando a prova da X OBA.

A OBA se inclui como parte das atividades do Programa AEB Escola, iniciativa da AEB de popularização da ciência e divulgação das atividades espaciais. Para tanto, a AEB conta com o apoio do Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial (CTA) e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe/MCT).

Acervo EM. São Clemente – Bela Vista. Disponível em www.oba.org.br/

Figura 2. Alunos da EM São Clemente de Bela Vista, MS, realizando a atividade prática da II Obfog.

Os alunos participantes da OBA são incentivados ao estudo, observação e experimentação. Além das provas teóricas, desenvolvem atividades práticas com material de baixo custo. A Olimpíada Brasileira de Foguetes é um tipo de atividade prática e tem por objetivo desafiar alunos e professores a fazerem uso de sua criatividade para lançar pequenos foguetes didáticos o mais longe possível.

Acervo EM Prof. Ignes Blanco de Abreu. Disponível em www.oba.org.br/

Figura 3. Alunos da EM Prof. Ignes Blanco de Abreu de Mairinque, SP, realizando a atividade prática da II Obfog.

Em 2008, as provas da OBA passaram a contemplar também questões sobre Conservação de Energia, no intuito de estimular alunos e professores a se dedicarem ao estudo de temas tão importantes e atuais, os quais estão diretamente ligados ao aquecimento global e às mudanças climáticas.

Podem participar da OBA todos os estudantes dos níveis fundamental e médio do País regularmente matriculados em instituições de ensinos médio e/ou fundamental que tenham previamente se cadastrado como participantes da OBA, por meio de um professor responsável por coordenar as atividades da OBA em sua escola, conforme orientações constantes do sítio www.oba.org.br/.

Não há restrição quanto ao número mínimo ou máximo de alunos participantes por escola. Se a escola em que o aluno estuda não estiver cadastrada para participar da OBA, o estudante interessado pode recorrer a uma outra instituição cadastrada. A inscrição do aluno deve ser feita pelo professor que aplica a prova. O prazo para as inscrições dos alunos tem como limite máximo o dia estabelecido pela CO/OBA para a realização das provas, ficando a critério da escola, que poderá estabelecer outra data para que tenha tempo hábil de reproduzir as provas e tomar as demais providências cabíveis.

A participação na OBA é inteiramente gratuita e as escolas, além de se beneficiarem com esses conhecimentos, recebem, também, certificados que são distribuídos para todos os alunos e professores envolvidos com a Olimpíada, além de medalhas, para valorizar o esforço e dedicação dos alunos com melhores desempenhos nas provas.

Adicionalmente, os 50 alunos que mais se destacam nas questões de astronomia, juntamente com seus professores, são convidados a participar da Reunião Anual da SAB, quando têm a oportunidade de conhecer astrônomos de todo o País e participar de cursos sobre astronomia, visando, inclusive, à participação na Olimpíada Internacional de Astronomia. Já os 50 alunos que se destacam em

Acervo Col. Curso Pentágono. Disponível em www.oba.org.br/

Figura 4. Alunos do Colégio Curso Pentágono de Limoeiro, PE, realizando a atividade prática "Relógio Solar" da OBA e a atividade prática da II Obfog.

Acervo AEB.

Figura 5. Alunos do Colégio Militar de Brasília, DF, apresentando a atividade prática da Obfog, que os classificou para participar da III Jornada Espacial, realizada em São José dos Campos, SP.

Acervo AEB.

Figura 6. Aluno realizando, com a ajuda de uma especialista, a atividade prática "Interpretando Imagens de Satélite" durante a III Jornada Espacial, em São José dos Campos, SP.

Acervo AEB.

Figura 7. Professores realizando a atividade prática "Construindo Foguetes", durante a III Jornada Espacial, em São José dos Campos, SP.

astronáutica, são convidados a participar da Jornada Espacial, também acompanhados de seus professores, evento que ocorre anualmente no município de São José dos Campos, SP, pólo do desenvolvimento da tecnologia espacial no País, oportunidade em que realizam visitas a órgãos executores das atividades espaciais e participam de cursos sobre ciências espaciais. Para preparar os seus alunos, as escolas recebem, ainda, materiais de apoio sobre essas ciências, tais como CDs, vídeos, livros, livretos, revistas, fôlderes etc.

Por meio da Reunião anual da SAB e da Jornada Espacial, a OBA e o Programa AEB Escola pretendem contribuir para a revelação de novos talentos para a carreira científica, permitindo aos jovens o contato com pesquisadores das áreas de astronomia e astronáutica – com o objetivo de conhecerem o cotidiano das profissões nestas áreas ou em ciências afins.